



NEUROFYSIOLOGINEN LEIKKAUSVALVONTA

– Käytännöt Suomessa

Koulutusala Sosiaali-, terveys- ja liikunta-ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Bioanalytiikan kliinisen asiantuntijan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Eeva-Liisa Kärpijoki			
Työn nimi Neurofysiologiset leikkausvalvonnat – Käytännöt Suomessa			
Päiväys	14.3.2018	Sivumäärä/Liitteet	95/6
Ohjaaja(t) Puhakka Antti, Kliinisen neurofysiologian erikoislääkäri (TYKS); Aura Santeri, Kliiniseen neurofysiologian erikoislääkäri (TYKS); Halimaa Sirkka-Liisa, yliopettaja (Savonia-ammattikorkeakoulu)			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Tyks-Sapa-liikelaitos (nykyinen Kuvantamisen toimialue), Turun yliopistollinen keskussairaala (TYKS), Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri (VSSHP)			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Potilaan elintoimintojen leikkauksen aikaista valvontaa eli intraoperatiivista monitorointia (IOM) on käytetty osana monia kirurgisia toimenpiteitä jo vuosikymmenten ajan. Neurofysiologinen leikkausvalvonta perustuu vakiintuneisiin laboratoriossa tehtäviin neurofysiologisiin standarditutkimuksiin, kuten elektroencefalografian (EEG), elektromyografian (EMG) ja herätevasteiden mittaamiseen. Leikkausvalvonnan tarkoituksena on ehkäistä mahdollisten neurologisten vaurioiden syntyminen ja auttaa kirurgia leikkausalueen anatomian hahmottamisessa ja kudosten tunnistuksessa. Leikkausvalvontamenetelmien valinta riippuu potilaalle suunnitellun kirurgisen toimenpiteen laajuudesta ja usein multimodaalisella neurofysiologisella leikkausvalvonnalla saavutetaan paras mahdollinen lopputulos. IOM-menetelmät ja -käytännöt kehittyvät voimakkaasti koko ajan sekä kansainvälisesti että valtakunnallisestikin. Ne muovautuvat käytännön tarpeita vastaaviksi ja hyviksi havaittujen käytäntöjen mukaisiksi.</p> <p>Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kartoittaa yliopistollisten sairaaloiden kliinisen neurofysiologian yksiköiden IOM-käytäntöjä Suomessa ja vertailla eri organisaatioiden välisiä käytäntöjä. Tarkoituksena oli myös tutustua leikkausvalvontoihin liittyviin kansainvälisiin suosituksiin ja kannanottoihin. Tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa neurofysiologisten leikkausvalvontojen käytänteistä Suomessa, sillä tämä kansallinen kartoitus on ensimmäinen laatuaan.</p> <p>Tässä opinnäytetyössä käytettiin kvantitatiivista eli määrällistä tutkimusmenetelmää. Menetelmään liittyvä aineistonkeruu toteutettiin sähköisen kyselylomakkeen muodossa. Kysely lähetettiin kaikkien viiden yliopistosairaalan kliinisen neurofysiologian yksiköiden leikkausvalvonnoista vastaaville henkilöille. Kaikista viidestä organisaatiosta saatiin vastaus. Pienen otoskoon vuoksi tilastollisten analyysien käyttö ei ollut mielekäästä eikä luotettavien johtopäätösten tekeminen tilastollisin menetelmin ollut mahdollista.</p> <p>Yliopistollisten sairaaloiden neurofysiologiset leikkausvalvonnat toteutuvat Suomessa vain osittain julkaistujen kansainvälisten suositusten ja kannanottojen mukaisesti. Kansainväliset suositukset ja kannanotot nähtiin kuitenkin tarpeellisina ja niitä tulisi noudattaa. IOM-käytännöt olivat samansuuntaisia, kun verrattiin suomalaisia organisaatioita keskenään, mutta eri menetelmien käytössä oli eroja. Leikkausvalvontojen määrä sekä niitä valvovien henkilöiden määrä ja koulutustausta vaihtelivat eri organisaatioissa. Seuraavien kymmenen vuoden aikana leikkausvalvontojen määrän arvioidaan jopa kaksinkertaistuvan kaikissa organisaatioissa, mikä asettaa haasteita henkilöstön riittävyydelle ja palveluiden saatavuudelle.</p>			
<p>Avainsanat</p> <p>neurofysiologinen, leikkausvalvonta, suositukset, herätevaste, elektromyografia (EMG)</p>			

Field of Study Social Services, Health and Sports	
Degree Programme Master's Degree Programme in Biomedical Laboratory Science	
Author(s) Eeva-Liisa Kärpijoki	
Title of Thesis Intraoperative neurophysiological monitoring – Practices in Finland	
Date 14.3.2018	Pages/Appendices 95/6
Supervisor(s) Puhakka Antti, Consultant in Clinical Neurophysiology, MD (TYKS); Aura Santeri, Consultant in Clinical Neurophysiology, MD (TYKS); Halimaa Sirkka-Liisa, Principal Lecturer (Savonia University of Applied Sciences)	
Client Organisation/Partners The public utility Tyks-Sapa (current Medical Imaging Centre), Turku University Hospital (TYKS), The Hospital District of Southwest Finland	
<p>Abstract</p> <p>Intraoperative monitoring (IOM) has been used to monitor vital functions of the patient as part of many surgical procedures for decades. Intraoperative neurophysiological monitoring is based on the established standard neurophysiological examinations that are done in the laboratory, such as electroencephalography (EEG), electromyography (EMG) and evoked potential recordings. The purpose of monitoring is to prevent possible neurological damage and to help the surgeon in anatomical orienting and tissue recognition. The choice of monitoring methods depends on the type and extent of the surgical procedure planned for the patient, and the best possible result is often achieved with multimodal neurophysiological monitoring. Intraoperative monitoring methods and practices are evolving all the time both internationally and nationally. They adapt to practical needs and conform to good clinical practices.</p> <p>The purpose of this thesis was to evaluate the monitoring practices of the departments of clinical neurophysiology of the university hospitals in Finland, and to compare the practices between these different organizations. The aim was also to get familiarized with the international guidelines and position statements concerning intraoperative monitoring. The aim was to produce new information about the practices of intraoperative neurophysiological monitoring in Finland, as this national survey is the first of its kind.</p> <p>In this thesis, a quantitative research method was used. The data collection related to the method was implemented with an electronic survey. The questionnaire was sent to the persons responsible for the intraoperative monitoring in the departments of the clinical neurophysiology of the five Finnish university hospitals. All five organizations responded. Due to the small sample size, the use of statistical analyses was not meaningful and reliable statistical conclusions were not possible.</p> <p>Intraoperative neurophysiological monitoring in Finnish university hospitals is only partly implemented in line with the published international guidelines and position statements. However, international guidelines and position statements were considered necessary, and general consensus was that they should be followed. The monitoring practices were similar when comparing the organizations, but there were differences in the methods used. The number of monitoring cases, the number of supervisors and their educational background varied in different organizations. Over the next ten years, the number of monitoring cases are estimated to double in all organizations which poses challenges for staff sufficiency and availability of these services.</p>	
<p>Keywords</p> <p>Intraoperative, neurophysiology, monitoring, guidelines, evoked potentials, electromyography (EMG)</p>	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
2	NEUROFYSIOLOGISET LEIKKAUSVALVONNAT.....	8
2.1	Skolioosikirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta.....	9
2.2	Takakuoppakirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta	15
2.3	Aivokasvaintakirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta	19
2.4	Farmakologiset ja fysiologiset näkökohdat neurofysiologisissa leikkausvalvonnoissa	23
2.5	Turvallisuuskäsitteet neurofysiologisissa leikkausvalvonnoissa	24
3	NEUROFYSIOLOGISEN LEIKKAUSVALVONNAN KANSAINVÄLISET SUOSITUKSET JA KANNANOTOT	28
3.1	International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN).....	29
3.2	American Clinical Neurophysiology Society (ACNS)	33
3.3	American Society of Neurophysiological Monitoring (ASNM)	37
3.4	Association of Neurophysiological Scientists (ANS)/British Society for Clinical Neurophysiology (BSCN) 46	
3.5	International Organization of Societies for Electrophysiological Technology (OSET).....	48
3.6	American Society of Electroneurodiagnostic Technologists (ASET).....	49
4	OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA TAVOITE	50
5	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	51
5.1	Kyselytutkimus tutkimusmenetelmänä	51
5.2	Kyselylomakkeen suunnittelu ja laatiminen	52
5.3	Aineiston kerääminen ja analysointi	54
6	TULOKSET	55
6.1	Taustakysymykset.....	55
6.2	Skolioosikirurgian leikkausvalvonta.....	56
6.3	Takakuoppakirurgian leikkausvalvonta.....	57
6.4	Aivokasvaintakirurgian leikkausvalvonta	59
6.5	Laadunvarmistus ja henkilöstön perehdytys.....	61
6.6	Laitteistot, materiaalit ja potilasturvallisuus.....	64
6.7	Nykytilanne ja tulevaisuus	67

7	TULOSTEN POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	68
7.1	Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuuden arviointi	68
7.2	Tulosten tarkastelu	72
7.3	Johtopäätökset	77
7.4	Ammatillinen kehittyminen opinnäytetyöprosessin aikana	79
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	82
	LIITE 1: LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT	90
	LIITE 2: SAATEKIRJE	91
	LIITE 3: YHTEENVETO NEUROFYSIOLOGISTEN LEIKKAUSVALVONTOJEN KANSAINVÄLISISTÄ SUOSITUKSISTA JA KANNANOTOISTA	92
	LIITE 4: KUULORADAN LEIKKAUKSEN AIKAISIA MONITOROINTIMENETELMIÄ JA TEKNISIÄ SUOSITUKSIA	93
	LIITE 5: SOMATOSENSORISEN RADAN LEIKKAUKSEN AIKAISIA MONITOROINTIMENETELMIÄ JA TEKNISIÄ SUOSITUKSIA	94
	LIITE 6: KORTIKOSPINAALISEN JA -BULBAARISEN RADAN LEIKKAUKSEN AIKAISIA MONITOROINTIMENETELMIÄ JA TEKNISIÄ SUOSITUKSIA	95

1 JOHDANTO

Potilaan elintoimintojen intraoperatiivinen monitorointi (IOM) eli leikkauksen aikainen valvonta on ollut osana monia leikkauksia ja toimenpiteitä jo vuosikymmenten ajan (Møller 2010, 1). Kuitenkin neurofysiologinen seuranta on verrattain uusi lisä leikkausvalvontaan ja käytössä olevien menetelmien kirjo on laaja (Møller 2010, 1; Nuwer 2010, 2). Kliinisen neurofysiologian menetelmät tuovat leikkausvalvontaan hermoston toiminnan elektrofysiologisen tarkkailun (Møller 2010, 9). Multimodaaliset neurofysiologiset menetelmät mahdollistavat leikkausvalvonnan potilaskohtaisen yksilöllisen suunnittelun leikkauksen tyypistä ja laajuudesta riippuen (MacDonald 2016a, 17 - 18; Lall, Lall, Hauptman, Munoz ym. 2012, 6; Nuwer 2010, 3).

Neurofysiologinen leikkausvalvonta sisältää kaksi teknistä osa-aluetta, monitoroinnin ja kartoituksen (mapping) (MacDonald 2016a, 17; Sala, Kržan & Deletis 2002, 265). Monitoroinnilla tarkoitetaan hermoston toiminnallisen kokonaisuuden jatkuvaa tarkkailua ja sen päämääränä on tunnistaa kirurgisen toimenpiteen aiheuttama tai muutoin leikkaukseen liittyvä neurofysiologinen muutos monitoroitavissa signaaleissa, mikä mahdollistaa nopean korjaavan toimenpiteen ennen pysyvän neurologisen vamman syntymistä. (Rabai, Sessions & Seubert 2016, 54, 66; Sala ym. 2002, 265; Burke, Nuwer, Daube, Fischer ym. 1999, 133). Kartoittamisella tarkoitetaan tekniikkaa, jonka avulla voidaan tunnistaa ja suojella anatomisesti vaikeasti hahmotettavaa hermokudosta (Fernández-Conejero 2016, 55; Sala ym. 2002, 265). Neurofysiologisilla menetelmillä voidaan siis erottaa erilaiset kudokset hermorakenteista ja vähentää näin kirurgian aiheuttamaa mahdollista leikkauksen jälkeistä eli postoperatiivista neurologista haittaa (Møller 2010, 9). Radikaalimpi kasvaimen poisto on usein mahdollista leikkausvalvonnan avulla ja kirurgit saavat samalla kokemusta hermokudoksen riittävän varovaisesta käsittelystä (Burke ym. 1999, 133). Leikkausvalvonnalla voidaan myös nopeuttaa toimenpidettä (Moberly & Welling 2015, 123).

IOM-menetelmät ovat vakiintuneita neurofysiologisia standarditutkimuksia, kuten elektroenkefalografia (EEG)-, elektromyografia (EMG)- ja herätevasterekisteröintejä. Leikkaussaliolosuhteet tuovat kuitenkin omat haasteensa ja vaatimuksensa leikkausvalvontoihin. (Skinner, Cohen, Morledge, McAuliffe ym. 2014, 104; Møller 2010, 10.) Teknisestä näkökulmasta täysin häiriöttömän signaalin rekisteröiminen leikkaussaliolosuhteissa voi olla vaikeaa ja anestesian vaikutus monitoroitaviin vasteisiin tulee osata ottaa huomioon. Keskiarvoistamista vaativat menetelmät voivat aiheuttaa odottelua kriittisissä tilanteissa. Monitoroivan henkilöstön osaaminen, ongelmanratkaisutaidot, tulkintakyky ja nopea päätöksenteko ovat ratkaisevassa osassa. (MacDonald 2016a, 18; Møller 2010, 12 - 17.) Myös yhteistyön muun leikkaussalitiimin kanssa tulee olla saumatonta (Rabai ym. 2016, 66; Toleikis 2015, 186; Lall ym. 2012, 1; Stecker 2012, 181 - 182; Møller 2010, 12).

Suosituksen laatimisen tavoitteena on parantaa terveydenhuollon toimintatapoja sekä yhtenäistää käytäntöjä ja edistää potilasturvallisuutta. Suositusten laatiminen ja ylläpitäminen edellyttää

potilastyöhön liittyvää kliinistä ja menetelmällistä asiantuntemusta sekä järjestelmällisesti tarkastellun uuden tutkimustiedon hyödyntämistä yhteisymmärryksessä eri asiantuntijatahojen kanssa. (Wollersheim & Grol 2005, 188 - 189.) IOM-käytännöille on laadittu kansainvälisiä suosituksia ja kannanottoja erikoisalayhdistysten toimesta muun muassa Yhdysvalloissa (ACNS, ASNM ja ASET) ja Britanniassa (ANS ja BSCN). Myös klinisen neurofysiologian kansainvälinen kattojärjestö (IFCN) on ottanut kantaa leikkausvalvonnan yksityiskohtiin. Lisäksi on julkaistu useita katsauksia muun muassa selkärankakirurgian aikaisia valvontoja koskien (Rabai ym. 2016; Stecker 2012; Deletis & Sala 2008).

Leikkausvalvontoja tehdään neurofysiologian yksikön toimesta Suomessa lähinnä yliopistollisissa sairaaloissa. Vuonna 2015 valtakunnallisten klinisen neurofysiologian opintopäivien yhteydessä kokoontui Suomen klinisen neurofysiologian yhdistys ry:n (SKNFY) IOM-työryhmä, jonka kokouksessa ehdotettiin yliopistollisten sairaaloiden IOM-käytäntöjen kartoittamista. Työryhmä totesi, että yhteisille suosituksille Suomessakin voisi olla tarvetta yliopistollisten sairaaloiden multimodaalisten neurofysiologisten IOM-käytäntöjen yhtenäistämiseksi.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kliinis-neurofysiologisia leikkausvalvontakäytäntöjä Suomessa. Tarkoituksena oli myös verrata soveltuvien osien kyselystä saatuja tuloksia näyttöön perustuviin kansainvälisiin suosituksiin, kannanottoihin ja katsauksiin. Tavoitteena oli uuden tiedon tuottaminen neurofysiologisten leikkausvalvontojen käytännöistä Suomessa. Opinnäytetyön toimeksiantaja oli Tyks-Sapa-liikelaitos (nykyinen Kuvantamisen toimialue), Turun yliopistollinen keskussairaala (TYKS), Varsinais-Suomen sairaanhoitopiiri (VSSHP). Yhteistyökumppaneina olivat HUS-Kuvantaminen, Helsingin yliopistollinen sairaala (HUS), Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri (HUS), KYS-Kuvantamiskeskus, Kuopion yliopistollinen sairaala (KYS), Pohjois-Savon sairaanhoitopiiri (PSSHP), TAYS:n Kuvantamiskeskus- ja apteekkiliikelaitos, Tampereen yliopistollinen sairaala (TAYS), Pirkanmaan sairaanhoitopiiri (PSHP) sekä OYS:n SAPA, Oulun yliopistollinen sairaala (OYS), Pohjois-Pohjanmaan sairaanhoitopiiri (PPSHP).

Opinnäytetyön teema on siis lähtöisin työelämän kehittämistarpeista. Kansainvälisten suositusten ja kannanottojen referoinnin sekä Suomen käytäntöjen kartoituksen uskotaan edistävän omien kansallisten suositusten laatimista. IOM-suositusten laatiminen edistäisi potilasturvallisuutta, vähentäisi haittatapahtumia, parantaisi leikkausvalvontojen laatua ja palvelisi alan kehitystä Suomessa.

Tässä työssä tullaan käyttämään intraoperatiivisista neurofysiologisista monitoroinneista termejä ”neurofysiologinen leikkausvalvonta”, ”leikkauksen aikainen monitorointi” tai IOM sekä näiden erilaisia tilanteeseen parhaiten sopivia yhdistelmiä.

2 NEUROFYSIOLOGISET LEIKKAUSVALVONNAT

Neurofysiologisia IOM-menetelmiä voidaan hyödyntää ääreis- ja keskushermoston rakenteiden toiminnan mittaamiseen nukutetulta potilaalta leikkauksen aikana. Tavoitteena on saada kirurgisista toimenpiteistä turvallisempia havaitsemalla ja estämällä uhkaava neurologinen vaurio mahdollisimman aikaisessa vaiheessa ja lisäämällä hermostorakenteiden tunnistusta. (ACNS 2009a.) Reaaliaikainen leikkausvalvonta mahdollistaa hermovaurioiden ennaltaehkäisemisen lisäksi kirurgin nopean reagoinnin uhkaavassa tilanteessa (Helenius & Aantaa 2016, 172; Helenius & Pajulo 2015, 1789). Leikkausvalvonta edistää myös kirurgin osaamisen kehittymistä esimerkiksi rakenteiden tunnistuksen ja niiden käsittelyn suhteen. On esitetty, että joissain tilanteissa kirurgi voi itsekin tulkita neurofysiologista dataa, mutta edellytyksenä on syvä ymmärrys neurofysiologian biosignaalianalyysiin liittyvistä periaatteista sekä osaamisen ja asiantuntemuksen osoittaminen (Skinner ym. 2014, 108).

Yleisimmin leikkaussalissa käytettyjä neurofysiologisia IOM-menetelmiä ovat EEG, EMG, somatosensorinen herätevastetutkimus (somatosensory evoked potential, SEP) ja motorinen herätevastetutkimus (motor evoked potential, MEP) sekä aivorungon kuuloherätevastetutkimus (brainstem auditory evoked potential, BAEP). EEG:llä voidaan tutkia aivokuoren sähköistä toimintaa ja SEP:llä tuntorataa (takajuoste-mediaalilemniskaalirataa). BAEP:lla tutkitaan kuulorataa ja MEP:llä saadaan tietoa laskevan liikeradan toiminnasta. (Daube & Rubin 2009, 725). EMG-valvonnalla voidaan havaita ääreishermoston, esim. aivohermojen vaurioita (Crum 2009, 739; Strommen 2009, 765).

IOM:n aikana jokainen potilas toimii omana kontrollinaan (MacDonald 2016a, 18; Martin & Stecker 2007, 79). Vertailu tehdään lähtötilanteen eli baseline-mittausten ja toimenpiteen aikaisten mittausten välillä (Helenius & Aantaa 2016, 172; Martin & Stecker 2007, 79). Laboratoriossa tehtävissä neurofysiologisissa tutkimuksissa mittaustilanne on rauhallinen ja mittausympäristö häiriötön. Käytettävissä olevaa aikaa on periaatteessa rajattomasti niin mittausten tekemiseen kuin tulkintaan, ja tulkinta perustuu käytössä oleviin viitearvoihin. Samat menetelmät leikkauksen aikana käytettyinä ovat häiriöisempiä ja tulkinta vaatii harjaantunutta silmää. Muutokset signaaleissa on osattava suhteuttaa fysiologisten ja farmakologisten muuttujien lisäksi kirurgiassa tapahtuviin toimenpiteisiin. Tämä vaatii vahvaa osaamista, kykyä nopeaan päätöksentekoon, samoin kuin yhteistyökykyä muun leikkaussalihenkilöstön kanssa. Turvallisuuskäsitteet tulee huomioida erityisen tarkasti. (MacDonald 2016a, 17 - 18.)

2.1 Skolioosikirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta

Leikkaussalissa ensimmäisenä järjestelmällisimmin neurofysiologisia IOM-menetelmiä hyödynsi skolioosikirurgia (Møller 2010, 2). Skolioosileikkauksissa selkärangan suoristamisen aikana selkäytimen venyttyminen ja paineen kohdistuminen selkäyttimeen voivat lisätä halvaantumisriskiä (Jääskeläinen, Oja, Partanen, Pyykkö ym. 2006, 737). Myös selkäytimen hapenpuute verenkierron estymisen vuoksi voi aiheuttaa neurologisia vaurioita (Helenius & Pajulo 2015, 1789; Toleikis 2015, 188; Jääskeläinen ym. 2006, 737). Leikkausvalvonta on tullut osaksi hyvää hoitoa (standard of care) monessa selkätoimenpiteessä (Toleikis 2015, 193).

Selkärangan virheasennot on jaoteltu eri ryhmiin ilmenemismuotonsa mukaan: skolioosiin, kyfoosiin ja lordoosiin sekä näiden yhdistelmiin. Skolioosi on näistä yleisin (Helenius 2009, 1168). Etiologialtaan rakenteellinen skolioosi voi olla idiopaattinen, synnynnäisestä nikamapoikkeavuudesta johtuva, eri sairauksiin liittyvä (neuromuskulaarinen) tai trauman jälkeen syntynyt (Helenius & Aantaa 2016, 170; Jääskeläinen ym. 2006, 737). Idiopaattinen eli tuntemattomasta syystä johtuva skolioosi on tavallisin selän virheasennon aiheuttaja lapsilla (Helenius 2009, 1168) ja nuorilla (Thirumala ym. 2016, 8).

Skolioosikirurgiassa käytettävät instrumentaatiotekniikat ovat kehittyneet paljon viimeisten vuosikymmenten aikana. Vaikean skolioosin korjausleikkauksessa usein käytettävän pedikkeli-ruuvijärjestelmän instrumentaatio on teknisesti hyvin vaativaa. Komplikaatioina voivat olla muun muassa selkäytimen ja hermojuurten vaurioituminen. (Helenius & Pajulo 2015, 1787 - 1788.) Lisäksi anestesiolla ja siihen liittyvillä toimenpiteillä on merkittävä rooli skolioosikirurgian onnistumisessa (Helenius & Pajulo 2015, 1789). Tavanomaisimpia neurofysiologisia IOM-menetelmiä selkärankakirurgiassa ovat EMG, MEP ja SEP. Tällaisen multimodaalisen leikkausvalvonnan etuna on eri modaaliteettien samanaikainen seuranta, mikä lisää leikkausvalvonnan käyttökelpoisuutta ja herkkyyttä sekä teknistä luotettavuutta. (Toleikis 2015, 186; 193; Lall ym. 2012, 6; Stecker 2012, 184.)

Elektromyografia (EMG)

Elektromyografian (EMG) mittaaminen on laajalti käytössä myös neurofysiologisissa leikkausvalvonnoissa. Menetelmä sisältää spontaani-EMG:n ja motoristen vasteiden (compound muscle action potential, cMAP) rekisteröimisen. Spontaani-EMG:n avulla voidaan valikoitujen lihasten toimintaa monitoroimalla tarkkailla alemman motoneuronin, spinaalisegmentin (etusarvi), hermojuuritasen ja perifeeristen hermojen toimintaa esimerkiksi selkärankakirurgian aikana (Rabai 2016, 63; Lall ym. 2012, 5). Tällöin useimmiten monitoroidaan alaraajojen lihaksia (Toleikis 2015, 192). Stimulaatio ei tässä menetelmässä ole tarpeen ja EMG:tä voidaan rekisteröidä koko kirurgisen operaation ajan, mikä mahdollistaa reaaliaikaisen palautteen antamisen (Lall ym. 2012, 5).

Normaali, terve liikehermo ei tuota lihasaktiiviteettia vaan signaali on ”hiljainen”. Hermojuuret, kuten myös cauda equinan säikeet selkäydintason alapuolella ovat leikkauksen aikana alttiina mekaaniselle vauriolle (Strommen 2009, 772 - 773; Leppanen 2005, 443). Uhkaava liikehermon aksonaalinen ärsytys tai vaurio aiheuttaa aksoneissa depolarisaation, jonka tuloksena aktiopotentiaalit aiheuttavat lihassäikeiden supistumisen. Tämä uhkaavaan hermovaurioon liittyvä spontaanitoiminta, nk. vauriosarjat, ovat rekisteröitävissä lihakseen asetetuilla elektrodeilla. (Toleikis 2015, 191.) Rekisteröinti voidaan toteuttaa neula-, lanka- tai pintaelektrodeilla (Strommen 2009, 766 - 767). Hermojuuren ärsytys esimerkiksi venytyksestä tai paineesta johtuen aiheuttaa korkeataajuisia neurotoonisia sarjoja (Toleikis 2015, 192). Neurotooniset sarjat ovat tunnistettavissa tyypillisen ulkomuodon ja äänen perusteella (Crum 2009, 740). Ne kertovat kirurgisen toimenpiteen mahdollisesti aiheuttamasta uhkaavasta hermovauriosta (Crum 2009, 740; Strommen 2009, 767). Mitä pidempi ja korkeataajuisempi tällainen neurotooninen sarja on, sitä suurempi on hermovaurion riski (Toleikis 2015, 191 - 192).

Muutokset lämpötilassa tai huuhtelu voivat myös aiheuttaa eri tyyppistä spontaanitoimintaa (Lall ym. 2012, 5). Toisaalta joskus hyvin nopea tapahtuma, kuten hermon terävä katkaisu, voi tapahtua ilman spontaania EMG-toimintaa (Toleikis 2015, 192). Myös kroonisten tilojen, kuten lihastautien aiheuttamat muutokset tulee ottaa huomioon tulkinnassa, sillä niihin liittyy myös neurogeenisen vaurion EMG-löydöksiä, jotka voivat muistuttaa neurotoonisia purkauksia (Rabai ym. 2016, 63). Tällaisen perussairauden vuoksi potilaiden liikkumiskyky on usein rajoittunutta ja lihasten atrofia on yleistä (Jääskeläinen ym. 2006, 737). Neurofysiologisesta näkökulmasta katsottuna haasteellisimpia skolioosivalvontoja ovat neuromuskulaarisen skolioosin leikkausvalvonta, koska perussairaudesta johtuen lihas/liikevasteet ovat vaimeita tai puuttuvat jo lähtötilanteessa.

Triggered- eli liipaistu EMG

Useat eri lihasryhmät saavat hermotuksensa liikeradan kautta. EMG-aktiivisuutta voidaan mitata valikoiduista lihaksista, kun liikerataa aktivoidaan tarkoituksellisesti ulkoisella sähköisellä stimulaatiolla. (Toleikis 2015, 191.) Triggered-EMG on optimaalinen stimulaatiomenetelmä selkärangan instrumentaation ja pedikkeliruuvien asennuksen aikana. Yleisimmin stimulaatiota käytetään arvioimaan pedikkeliruuvien oikea sijainti. (Rabai 2016, 63; Toleikis 2015, 192; Lall ym. 2012, 5; Stecker 2012, 178.) Hermorakenteet ovat lähellä pedikkeleitä, jolloin ruuvien virheellinen asentaminen saattaa johtaa postoperatiiviseen neurologiseen vaurioon tai hermojuuriperäiseen säteilykipuun (Leppanen 2009, 444). Oikein asennettuna pedikkeliruuvi on ehjän luun eristämänä ja irti läheisestä hermojuuresta (Lall ym. 2012, 5).

Pedikkeliruuvistimulaatiossa kirurgi antaa vaimeita sähköärsykyitä leikkausalueella olevaan pedikkeliruuviin. Tällä toimenpiteellä saadaan selville, onko pedikkeliruuvi liian lähellä hermojuurta nikamakaaren varren (pedikkeli) alueella. Mikäli pedikkeliruuvien kautta on olemassa

sähköinen yhteys hermojuureen, ärsyke saa aikaan kohdelihaksessa mittavan aktivoitumisen. (Strommen 2009, 767.) Matala stimulaatiokynnys viittaa siihen, että pedikkeliruuvi on lähellä hermorakenteita. Kun pedikkeliruuvi on kontaktissa nesteeseen voi stimulaatiokynnys virheellisesti nousta, koska ärsyke leviää laajemmalle. (Toleikis 2015, 192; Lall ym. 2012, 5; Stecker 2012, 179.) Stimulaatiokynnys voi olla korkeampi myös, jos hermojuuri on vaurioitunut jo ennen kirurgista toimenpidettä (Rabai ym. 2016, 63; Lall ym. 2012, 5; Stecker 2012, 178). Lihaselaksanttien malitillinenkin käyttö voi nostaa kynnystä. Anatomiset seikat on otettava myös huomioon, sillä rinta- ja lannerangan pedikkelit ovat keskenään erilaisia ja stimulaatiokynnys vaihtelee ruuvien sijainnista riippuen. (Stecker 2012, 179.)

Leikkausalueen hermojuurten ja ääreishermostojen stimulaatiolla kirurgi kartoittaa hermon kulkureitin muun kudoksen, esimerkiksi tuumorin tai arpikudoksen seasta antamalla sähköärsykeitä tutkittavalle alueelle. Mikäli stimulaatiokohdassa on hermorakenteita, aktivoituu kyseisen hermon hermottama lihas, ja vaste voidaan mitata lihaksesta neula- tai pintaelektrodein. (Leppanen 2009, 446; Strommen 2009, 766 - 777.)

Lihaselaksanttien käyttöä on syytä välttää EMG-valvonnan aikana, sillä relaksoivat aineet pienentävät motorisen vasteen kokoa (Crum 2009, 740; Strommen 2009, 767; Jääskeläinen ym. 2006, 733). Lihaselaksantin väärä titraus voi jopa kokonaan estää lihasvasteiden rekisteröimisen (Sloan & Jäntti 2008, 111). Anestesia sinänsä ei vaikuta EMG-signaaliin, mutta sen keventyminen voi saada aikaan potilaan tahdonalaista liikehdintää, joka näkyy lihasjännityksenä monissa monitoroitavissa lihaksissa samaan aikaan. (Crum 2009, 740; Leppanen 2005, 444).

Motorinen herätevaste (MEP)

Motorinen herätevaste (motor evoked potential) eli MEP on IOM-menetelmä, jonka tekniikka hyväksyttiin leikkaussalikäyttöön vasta 2000-luvun alussa (Toleikis 2015, 189). MEP:llä tutkitaan laskevien liikeratojen (kortikospinaalisten) toimintaa stimuloimalla liikeaivokuorta transkraniaalisesti sähköllä (Møller 2010, 11; Strommen 2009, 760 - 761). Lihasvasteet rekisteröidään harkinnan ja tarpeen mukaan valituista kohdelihaksista (Rabai ym. 2016, 58; Møller 2010, 11; Strommen 2009, 760 - 761). Motorinen herätevaste mahdollistaa koko liikeradan tutkimisen liikeaivokuorelta lähtien, kortikospinaalisen radan, hermojuurten sekä perifeeristen hermojen ja lihaksen toiminnan mittaaminen mukaan lukien (Lall ym. 2012, 2). MEP:n syntyminen on monivaiheinen prosessi. Motorisen aivokuoren, kortikospinaalisen radan aksonien sekä alfamotoneuronien johtavuus ja herkkyys ärsytykselle vaikuttavat motorisen herätevasteen rekisteröimiseen. (MacDonald ym. 2013, 2294 - 2296.)

Optimaalinen rekisteröinti- ja stimulaatioelektrodien asettelu tulisi suunnitella potilaskohtaisesti. Rekisteröintielektrodeina voidaan lihaksissa käyttää neula- tai pintaelektrodeja. Lihasten bilateraalinen rekisteröinti on suositeltavaa ja vasteet voidaan mitata tarpeen mukaan sekä ylä- että

alaraajoista. Yläraajojen MEP-vasteiden leikkausvalvonta on hyödyllistä, mikäli leikkausalue on esimerkiksi kaularangan alueella tai aivorungon tasolla. Jos taas operoidaan rinta- tai lannerangan alueella, voidaan monitoroinnissa seurata alaraajojen MEP-vasteita. Tällöinkin yläraajojen lihakset voivat toimia kontrollina, esimerkiksi teknisen häiriön tai anestesiamuutoksen varalta. (Legatt, Emerson, Epstein, MacDonald ym. 2016, 47 - 48.)

Transkraniaalinen sähköinen stimulaatio (transcranial electrical stimulation, TES) annetaan yleisimmin neula- tai korkkiruuvielektrodien kautta ja elektrodit sijoitetaan kansainvälisen 10–10 tai 10–20 -järjestelmän mukaisesti. (Deletis 2016, 33 - 34; Legatt ym. 2016, 47.) Deletiksen (2016) mukaan yläraajojen MEP-vasteet saadaan parhaiten esiin stimuloimalla pääläen subkutista C3/C4 -elektrodien ja alaraajojen vasteet C1/C2 -elektrodipaikkojen kohdalta. Stimulaation voimakkuus vaikuttaa vasteiden esiin saamiseen. Voimakkaampi stimulaatio leviää elektrodista toiseen aktivoiden laajemman alueen aivoista tai kortikospinaalista rataa syvemmältä aivoista kuten capsula internan tasolta. Näin voidaan saada monitoroitua lihasvasteet kaikista neljästä raajasta. (Deletis 2016, 34.)

MEP:n tulkinta voi olla haasteellista, koska vasteisiin vaikuttavat monet seikat ja niiden morfologia vaihtelee (Rabai ym. 2016, 60). Potilaiden välinen vaihtelu on suurta ja vasteen koko vaihtelee lihaksesta riippuen (Toleikis 2015, 190). Myös muutokset anestesiassa vaikuttavat suuresti MEP-vasteiden esille tuloon (Legatt ym. 2016, 48; Toleikis 2015, 189). Inhaloidut anesteetit nostavat ärsytyskynnystä liikeradan eri osissa vaikuttamalla synapsien toimintaan eikä koko vaste välttämättä edes synny (Legatt ym. 2016, 48; Strommen 2009, 764; Sloan & Jäntti 2008, 99 - 103; Pajewski, Arlet & Phillips 2007, 119). Neuromuskulaariset häiriöt vaikuttavat MEP-vasteisiin. Lihasvasteet voivat puuttua kokonaan, mikäli lihasrelaksanttia käytetään. Transkraniaalinen sähköinen stimulaatio aiheuttaa potilaalle voimakkaan liikkeen eikä MEP:ä voida tästä syystä monitoroida taukoamatta kirurgisen operaation aikana, vaan stimulaation ajoituksesta tulee sopia kirurgin kanssa. (Legatt ym. 2016, 44; Lall ym. 2012, 3.) MEP:n katsotaan olevan kultainen standardi postoperatiivisten motoristen haittojen ennustamiseksi ja välttämiseksi (Lall ym. 2012, 3 - 4).

D-aalto -rekisteröinti

D-aalto (Direct wave) rekisteröidään epiduraalisesti suoraan selkäytimen päältä, kun sähköinen stimulus annetaan transkraniaalisesti liikeaivokuorelle (Deletis 2016, 33; Legatt ym. 2016, 43; Rabai ym. 2016, 58 - 59; Toleikis 2015, 190; Lall ym. 2012, 4). Rekisteröinnissä D-aalto -elektrodi asetetaan vähintään leikkausalueen alapuolelle (kaudaalisesti), mutta yleensä myös yläpuolelle (rostraalisesti). Ärsyttämällä liikeaivokuorta sähköisesti rekisteröidään laskevien ratojen synkroninen aktivaatioaalto (D-aalto) elektrodien tasolta (Deletis 2016, 33; Rabai ym. 2016, 59; Lall ym. 2012, 4).

D-aallon katsotaan syntyvän kortikospinaalisen radan myelinoitujen hermojen aksonien suoran aktivaation seurauksena (Deletis 2016, 34, 65; Legatt ym. 2016, 42). Koska pyramidiradan neuronien välillä ei ole synapseja, D-aalto ei reagoi yhtä herkästi anesteetteihin kuin MEP. (Deletis 2016, 35; Legatt ym. 2016, 43; Lall ym. 2012; 4; Stecker 2012, 175). Lisäksi D-aallon rekisteröinti ei vaadi alemman motoneuronin aktivoitumista ja vasteet ovat vakaat (Rabai ym. 2016, 59), koska lihasrelaksantin käyttö ei vaikuta D-aaltoon (Legatt ym. 2016, 44; Lall ym. 2012, 4).

D-aallon amplitudi on suurimmillaan kaularangan alueella. D-aallon koko korreloi kortikospinaalisen radan toimivien aksonien määrään, mutta sen avulla ei voida määrittää vauriopuolta. Selkärangan yläosassa aksoneita on vielä runsaasti, mutta mitä alemmas mennään, sitä vähemmän aksoneita on. (Legat ym. 2016, 43 - 44.) D-aallolla ei voidakaan monitoroida selkärangan alaosan eikä hermojuuritason toimintaa (Lall ym. 2012, 4) ja rekisteröinti kannattaa käytännössä siis tehdä ylemmän rintarangan tasolta (Legatt ym. 2016, 44; Rabai ym. 2016, 59; Toleikis 2015, 190; Lall ym. 2012, 4). Selkäytimen kasvainten (intramedullaaristen) poiston yhteydessä D-aalto -rekisteröinnin on katsottu olevan kultainen standardi liikeradan valvontaan (Lall ym. 2012, 5).

Somatosensorinen herätevaste (SEP)

Neurofysiologisista monitorointitekniikoista somatosensorinen herätevastemittaus (somatosensory evoked potential) eli SEP on vanhimpia; se on ollut käytössä jo yli 40 vuoden ajan (Toleikis 2015, 187). SEP-menetelmä tutkii somatosensorisen radan paksujen hermosäikeiden ja takajuoste-mediaalilemniskaalijärjestelmän toimintaa (Rabai ym. 2016, 56). SEP-vasteet saadaan aikaan stimuloimalla sähköisesti ääreishermaa, esim. ylä- tai alaraajassa. Subkortikaalisia selkäytimen vasteita rekisteröidään niskan alueelta ja kortikaalisia vasteita pään pinnalta (Rabai ym. 2016, 57 - 58; Toleikis 2015, 187).

SEP-vasteet ovat leikkaussaliolosuhteissa vakaat, mutta häiriöherkät. Perifeerisiin ja subkortikaalisiin SEP-vasteisiin anestesia ei vaikuta samalla tavoin kuin aivokuoren vasteisiin (Toleikis 2015, 188). SEP:ä voidaan mitata koko kirurgisen toimenpiteen ajan eikä stimulaatio aiheuta tavallisesti häiritseviä tai odottamattomia liikkeitä. Lihasrelaksantit eivät vaikuta vasteiden esille tuloon. (Soto 2016, 27.) Optimoitu SEP-monitorointi vähentää keskiarvoistamiseen käytettävää aikaa ja mahdollistaa reaaliaikaisen ja nopean palautteenannon kirurgille (Rabai ym. 2016, 58, 66).

SEP:llä saadaan kuitenkin tietoa vain selkäytimen takajuosteen toiminnasta (Deletis 2016, 31; 32; Rabai ym. 2016, 56; Jain, Khanna & Hassanzadeh 2015, 229; Soto 2016, 27; Toleikis 2015, 188). Yleisimmin monitoroitavissa hermoissa (medianus, ulnaris ja tibialis) on säikeitä monesta hermojuuresta, joten SEP ei ole hermojuurispesifinen mittaus. SEP ei siis tästä syystä välttämättä

sovellu hermojuuri- tai pedikkeliruuvimonitorointiin. (Rabai ym. 2016, 66; Soto 2016, 27.) Dermatomi-SEP taas olisi spesifimpi, mutta potilaskohtainen variaatio on suurempi ja vasteet ovat laboratorio-olosuhteissakin pieniä. On myös vaikea ennustaa, minkä hermojuuren hermottama alue mahdollisesti kärsii leikkauksessa. (Soto 2016, 27.)

SEP:n herkkyys erilaisille fysiologisille muuttujille voi aiheuttaa vääriä tulkintoja. Lämpötilan lasku on yksi tällaisista muuttujista (Soto 2016, 27; Toleikis 2015, 188; Nuwer & Packwood 2008, 186 - 187). Ydinlämmöstä huolehtiminen onkin osa skolioosianestesiaa (Helenius & Aantaa 2016, 173). Leikkauksen aikaisella odottamattomalla verenvuodolla ja sen aiheuttamalla iskemialla voi olla vakavat seuraukset potilaan toipumisen kannalta (Rabai ym. 2016, 65; Soto 2016, 27; Jain ym. 2015, 230; Toleikis 2015, 188; Nuwer & Packwood 2008, 187). Tämän vuoksi optimaaliseen skolioosianestesiaan liittyy muun muassa keskivaltimopaineen ylläpito tavallista korkeammalla tasolla, jotta selkäytimen verenkierto on turvattu kirurgisen toimenpiteen aikana (Helenius & Pajulo 2015, 1789). Leikkauksenaikainen verenvuoto ja sen vaatima verensiirto lisää myös infektioriskiä ja hidastaa paranemisprosessia (Helenius, Keskinen, Syvänen, Lukkarinen ym. 2016, 395).

Anestesiassa tapahtuvat muutokset voivat vaikeuttaa kortikaalisen SEP:n tulkintaa (Rabai ym. 2016, 58; Soto 2016, 27; Jain ym. 2015, 230; Toleikis 2015, 188; Nuwer & Packwood 2008, 186 - 197). Tekniset syyt, kuten laitteistoon tai elektrodeihin liittyvät toimintahäiriöt sekä ympärillä olevat muut leikkaussalilaitteistot voivat myös aiheuttaa tulkintavaikeuksia ja ongelmanratkaisutaidot korostuvat tällaisessa tilanteessa. Kirurgisesta mekaanisesta manipulaatiosta johtuvat syyt, kuten paine tai venytys, voivat aiheuttaa todellisen muutoksen SEP-vasteisiin, ja siihen pitää reagoida nopeasti. Mekaanisten vaurioiden, kuten painevaikutuksen, on todettu aiheuttavan ensin muutoksen johtonopeuteen ja sen jälkeen täydellisen johtumiskatkoksen, ja lopuksi aksonivaurion. SEP on erityisen herkkä iskemian aiheuttamille muutoksille. (Cruccu, Aminoff, Curio, Guerit ym. 2008, 1713 - 1714.)

Elektroenkefalografia (EEG)

Neurofysiologisista leikkausvalvontamenetelmistä elektroenkefalografia eli EEG on yksi vanhimmista ja hyödynnettyimmistä. EEG-tekniikan kehittyminen on ollut myötävaikuttamassa siihen, että anestesia- ja tajunnantason seuraminen ovat tulleet mahdollisiksi. (Isley, Edmonds & Stecker 2009, 369.) Signaalinkäsittelyn kehittyminen on siis tuonut EEG:n teho-osastoille ja leikkaussaleihin (Jännti & Sloan 2008, 77). EEG:tä on epilepsiakirurgian lisäksi käytetty kaulavaltimoahtaumakirurgiassa sekä ohitusleikkauksissa. Ohitusleikkauksissa EEG-monitoroinnista ei ole varmaa hyötyä, sillä hypotermia vaikuttaa EEG:hen eikä iskemian luotettava toteaminen ole mahdollista. Lisäksi sydänkirurgiassa helposti korjattavia iskemian syitä ilmenee harvemmin kuin karotiskirurgian aikana. (So & Sharbrough 2008, 727.) Siinä missä sydän- ja verisuonikirurgian aikaisella EEG-monitoroinnilla on tarkoitus havaita ja välttää

uhkaavia ja haitallisia aivotapahtumia, epilepsiakirurgian aikaisella EEG-valvonnalla pyritään taas paikallistamaan ja poistamaan epileptogeeninen alue mahdollisimman vähin vaurioin, vahingoittamatta tärkeitä rakenteita kuten aivokuoren liike- tai puhealueita. (So & Sharbrough 2009, 737.)

Teknisesti luotettava kallon ulkopuolinen EEG-monitorointi suoritetaan subdermaalisilla neula-, lanka- tai korkkiruuvielektrodeilla. Elektrodit asetetaan kansainvälisen 10–20 -järjestelmän mukaisesti. Kahdeksan kanavan käyttö olisi suositeltavaa, mutta neljäkin kanavaa on joissain tapauksissa riittävä. Suoraan aivokuoren pinnan sähköisen toiminnan rekisteröimiseen (elektrokortikografia) voidaan käyttää strip- tai gridelektrodeja. (Isley ym. 2009, 369 - 371.)

EEG:llä monitoroitava yleisanestesia voidaan saada aikaan suonen sisäisillä tai inhaloitavilla anesteeteilla (Isley ym. 2009, 380). Vaikka eri anesteetit saavat aikaan saman lopputuloksen eli tajuttomuuden, amnesian, kivuttomuuden ja liikkumattomuuden, niillä on hyvin erilainen vaikutus EEG:hen (Isley ym. 2009, 380; Jäntti & Sloan 2008, 91; Van Huffelen 2008, 130). EEG-muutoksiin vaikuttavat myös anestesian syvyys ja induktionopeus (So & Sharbrough 2009, 732).

EEG reagoi herkästi verenkierron ja hapettumisen muutoksiin sekä myös matalaan verenpaineeseen (Van Huffelen 2008, 128). Anestesian syveneminen ja verenkierron heikentyminen näkyvät EEG:ssä samalla tavoin, hitaan toiminnan lisääntymisenä. Tosin verenkierron heikentymisen aiheuttamat vaikutukset näkyvät pienellä viiveellä. Sen vuoksi on tärkeä monitoroida EEG:tä sellaisilla asetuksilla, että hitaatkin muutokset on helppo havaita. (So & Sharbrough 2009, 728; Van Huffelen 2008, 131.) Tilanteessa, kuten sydänkirurgian aikana, jossa jäähtytyksestä johtuen EEG ei ole luotettavasti mitattavissa, SEP:llä voidaan aivorunkotason vasteilla tarkkailla verenkiertoa (Cruccu ym. 2008, 1714). Anestesiataason seuranta leikkauksen aikaisen EEG:n avulla on tärkeää myös MEP:n vuoksi, sillä vasteiden amplitudit laskevat anestesian syvetessä (Jäntti & Sloan 2008, 88; Leppanen 2005, 441).

2.2 Takakuoppakirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta

Yleisin takakuoppakirurgiaa vaativa kallon sisäinen kasvain on akustikusneurinooma eli vestibulaarischwannooma (Oh, Nagasawa, Fong, Trang ym. 2012, 1; Jääskeläinen ym. 2006, 731). Schwannooma on hermotupesta lähtevä hyvänlaatuinen kasvain ja sen kasvunopeus on hidasta (Mäenpää & Halonen 2016, 43). Tämä usein kahdeksannen aivohermon eli kuulotasapainohermon kasvain voi vaikuttaa myös läheisen kasvohermon (n. facialis) toimintaan. Kasvaimen, kuulo- ja kasvohermon rakenteet ovat usein vaikeasti erotettavissa toisistaan. (Oh ym. 2012, 1; Jääskeläinen ym. 2006, 731.) Varsinkin suuret kasvaimet vaativat kirurgisen poiston ja tällöin kasvo- sekä kuulohermon postoperatiivisen toimintahäiriön riski lisääntyy (Oh ym. 2012, 2 - 4). Myös aivorunko ja pikkuaivot voivat kärsiä, kun kasvain työntyy kuulohermokanavasta niitä vasten (Mäenpää & Halonen 2016, 43; Crum 2009, 744).

Aivohermot ovat alttiita kirurgian aikaiselle vauriolle, sillä ne ovat intrakraniaalitallassa ilman suojaavaa hermotuppea, epineuriumia (Oh ym. 2012, 4; Jääskeläinen 2006, 732). Toimenpiteen aikaisen hermon venytyksen, hapenpuutteen tai painevaikutuksen vuoksi voi syntyä akuutti vaurio, joka on usein palautuva. Hermoon kohdistuvasta voimakkaasta traumasta, laseraatiosta tai venytyksestä aiheutuva aksonivaurio leikkausalueella paranee huomattavasti hitaammin ja saattaa vaikuttaa esimerkiksi kasvolihasten toimintaan. (Oh ym. 2012, 1.) Täydellinen aksonivaurio voi johtaa jopa palautumattomaan kasvohermohalvaukseen (Jääskeläinen ym. 2006, 732). Kasvohermon toiminnanhäiriö aiheuttaa muun muassa silmäluomen sulkemisen ja suun motoriikan ongelmia halvaantumisoireen vuoksi (Oh ym. 2012, 2). Myös kolmoisherma (n. trigeminus) voi vaurioitua takakuopan kasvainten poiston yhteydessä (Jääskeläinen ym. 2006, 732).

EMG:tä pidetään kultaisena standardina kasvohermon toiminnan leikkausvalvonnassa akustikusneurinoomakirurgian aikana. Se on kustannustehokas menetelmä takakuoppakirurgian monitoroinnissa ja saattaa myös lyhentää leikkausaikaa. Spontaani-EMG:llä nähdään kasvohermoa uhkaava hermovaurio tai tunnistetaan instrumentaatiosta aiheutuvat artefaktat. (Moberly & Welling 2015, 122.) Lisäksi kurkunpään ja kielen lihaksista voidaan rekisteröidä EMG:tä (Moberly & Welling 2015, 122; Crum 2009, 746; Sala ym. 2002, 281). Hermoon kohdistuva mekaaninen ärsytys aiheuttaa neurotoonisia sarjoja ja ne kertovat uhkaavasta hermovauriosta (Moberly & Welling 2015, 123; Crum 2009, 740), jolloin kirurgin on harkittava lähestymistavan muutosta (Oh ym. 2012, 3). Kasvohermo ja kolmoisherma voidaan anatomisesti paikantaa suoran stimulaation avulla (Prell 2016, 69). Ideaalitalanteessa kasvohermoa voidaan stimuloida aivorungon läheltä eli leikkausalueen proksimaalipuolelta, distaalisen stimulaation lisäksi (Oh ym. 2012, 2). EMG-valvonnan avulla kirurgin saama informaatio on suoraa, nopeaa ja reaaliaikaista varsinkin, jos kaiutin on käytössä. Leikkausvalvonta auttaa näin ehkäisemään kasvohermon suunnittelematonta manipulointia ja ohjaa kirurgista päätöksentekoa leikkauksen aikana. (Oh ym. 2012, 2 - 3.)

Standarditekniikoiden lisäksi voidaan kasvohermon hermottamien lihasten MEP:llä lisätä leikkausvalvonnan hyödyllisyyttä ja herkkyyttä (Bozinov, Grotzer & Sarnthein 2015, 794; Morota, Ihara & Deletis ym. 2010, 517 - 518). Morota ym. (2010) kutsuvat tätä menetelmää kortikobulbaarisen radaston MEP:ksi (corticobulbar tract motor-evoked potential, CBT-MEP) (Morota ym. 2010, 513), kun taas Bozinov ym. kirjoittavat kasvohermon MEP:stä (facial nerve motor-evoked potential, FNMEP) (Bozinov 2015, 787). CBT-MEP:en stimulaatiossa tulee huomioida, että jo yksi voimakas ärsyke voi levitä aivohermojen perifeerisiin haaroihin ja aiheuttaa rekisteröitävässä lihaksessa mitattavan vasteen (Bozinov ym. 2015, 790; Morota ym. 2010, 516). Bulbaariset motoneuronit vaativat kuitenkin laskevien kortikobulbaaristen aktiopotentiaalien sarjoja temporaalisen summaation aikaan saamiseksi (Dong, MacDonald, Akagami, Westerberg ym. 2005, 593). Mikäli vaste saadaan esiin vasta sarjastimuluksen, mutta ei yksittäisen kontrollistimuluksen jälkeen, voidaan olettaa vasteen olevan kortikobulbaarinen MEP eikä perifeerinen

lihasvaste (Bozinov ym. 2015, 790; Morota ym. 2010, 519; Dong ym. 590). Saatujen vasteiden tulkinta on haastavaa, sillä vasteet eivät ole supramaksimaalisia ja vasteiden vaihtelu kerrasta toiseen on suurta (Bozinov ym. 2015, 787; Morota ym. 2010 519).

Sala ym. (2002) ovat sitä mieltä, että useampaa leikkausvalvontamenetelmää (SEP, MEP ja BAEP) käyttämällä päästään onnistuneeseen lopputulokseen takakuopan ja aivorungon alueen kirurgisten toimenpiteiden aikana (Sala ym. 2002, 281). Szelényi (2016) toteaa myös, että BAEP ja kortikobulbaarinen MEP ovat keskeisiä monitorointitekniikoita takakuopan alueen tuumori-kirurgiassa (Szelényi 2016; 65). Myös Prell suosittelee kortikobulbaarista leikkausvalvontaa tai prosessoidun EMG:n käyttöä takakuopan alueen (pikkuaivo-aivorunko) kasvainten kirurgian aikana (Prell 2016, 69 - 70). Aivorungon alueen kirurgiassa raajalihasten MEP:t toimivat myös kontrollina kortikobulbaariselle MEP:lle (Szelényi 2016, 65; Dong ym. 2005, 589). Raaja-MEP:ien (Dong ym. 2005, 589) sekä sensoristen ratojen leikkausvalvonta aivorungon alueen kasvaimen poiston yhteydessä ovat hyödyllisiä menetelmiä (Toleikis 2010, 43 - 44; Dong ym. 2005, 589).

Kuuloherätevaste (BAEP)

Akustikusneurinooman poisto on vaativaa varsinkin kuulon säilymisen kannalta, sillä kasvain voi olla tiukasti kiinni kuulohermossa tai kasvaa hermon sisään (Oh ym. 2012, 1; 4). Kuulohermo on usein vaurioitunut merkittävästi jo ennen leikkausta kasvaimen painevaikutuksen vuoksi. Painaessaan kuulo-tasapainohermoa kasvain voi aiheuttaa kuulon huononemista toispuolisesti, tinnitusta ja huimausta. (Mäenpää & Halonen 2016, 44.) Lähtötilanteen vuoksi akustikusneurinoomaleikkauksissa kuulohermon neurofysiologinen leikkausvalvonta on haasteellista ja kuulon säilyttäminen monitoroinnista huolimatta vaikeaa (Jääskeläinen ym. 2006, 734 - 735).

Kolme leikkauksen aikana yleisimmin käytettyä kuuloradan mittausmenetelmää ovat aivorunko- tai kuuloherätevaste (brainstem auditory evoked potential, BAEP), suoraan kuulohermon päältä mitattava cNAP (direct cochlear nerve compound action potential) sekä elektrokokleografia (electrocochleography, ECOG) (Oh ym. 2012, 5 - 6). Menetelmiä kutsutaan julkaisuista riippuen eri tavoilla. Aivorunkovasteesta (auditory brainstem response, ABR) ja elektrokokleogrammista (electrocochleogram, EcochG-gram) näkee kirjoitettavan. Kuulohermon suoran vasteen rekisteröinnistä käytetään myös lyhenteitä AN-CAP (auditory nerve compound action potential) (Martin & Stecker 2008, 76) ja DENM (direct eight nerve monitoring) (Moberly & Welling 2015, 123).

Kuuloherätevaste kertoo kuulohermon sekä aivorungon toiminnasta (Legatt 2013, 242; Crum 2009, 742). BAEP:ssa korvaan annetaan ääniärsykeitä, joiden aikaan saama vaste rekisteröidään aivokuorelta. Joskus vaste voidaan mitata myös suoraan kuulohermon päältä. (Dong 2016, 51; ACNS 2009c; Crum 2009, 742; Jääskeläinen ym. 2006, 735 - 736.) Signaalin kulkiessa perifeeristä kuuloradastoa pitkin kohti sentraalista osaa, syntyy eri rakenteiden

aktivoitumisen tuloksena viisihiippuinen BAEP-vaste (vasteet I-V). Kirurgiseen toimenpiteeseen liittyvän manipulaation vuoksi BAEP-vasteet reagoivat herkästi ja väärin positiivisten tulkintojen mahdollisuus lisääntyy. (Oh ym. 2012, 5.)

Pikkuaivojen aiheuttama paine, leikkaustoimenpide, kuulovaurio, lämpötilan muutos ja verenkierron estyminen kuulohermoon vaikuttavat BAEP-vasteisiin. Kirurgisen diathermialaitteen tai instrumentin, kuten poran tai ultraääni-imun käyttö aiheuttaa häiriöitä sekä meluhaittana että itse signaaliin. (Moberly & Welling 2015, 124; Legatt 2013 244 - 248.) Myös leikkausalueen huuhtelu keittosuolalla ja kirurgisen mikroskoopin aiheuttamat häiriöt tulee huomioida (Legatt 2013, 243 - 244; Yamakami, Yoshinori, Aeki, Wada ym. 2008, 218). Erityisesti eri instrumenttien aiheuttama paine/venytys (näkyvyyttä parannettaessa) aiheuttaa herkästi kuulohermovaurioita ja BAEP-muutoksia (Legatt 2013, 247 - 248). Rajoituksina BAEP:n käytölle on sen huono signaali-kohinasuhde, sillä vasteet vaativat aikaa vievää keskiarvoistamista ja ovat amplitudiltaan pieniä (Oh ym. 2012, 5; Yamakami ym. 2008, 218).

Suoraan kuulohermosta syntyneitä potentiaaleja mittaavat ECOG ja cNAP edustavat kuulotasapainohermoon kaikkien aktiopotentiaalien summavastetta. ECOG-menetelmässä rekisteröivä neulaelektrodi viedään tärykalvon läpi välikorvaan. Menetelmä mittaa kaikkein distaalisinta osaa kuuloradastosta. CNAP mitataan suoraan kuulohermosta leikkausalueella, jolloin rekisteröivä elektrodi on kuulohermoon pinnalla. Yleisimmin elektrodi asetetaan kasvaimen proksimaalipuolelle. Molemmissa tekniikoissa stimulaationa käytetään BAEP:n tavoin ääniärsykettä. Saadut vasteet ovat amplitudiltaan isompia kuin BAEP-vasteet eikä niiden keskiarvoistamiseen kulu juurikaan aikaa. Esimerkiksi muutokset verenkierrossa ovat nopeammin havaittavissa cNAP:lla kuin BAEP:lla. Näiden menetelmien heikkoutena on, että ECOG ei mittaa lainkaan sentraalisempaa osaa kuuloradastosta ja cNAP:n rekisteröivä elektrodi vie tilaa kirurgisella alueella. (Oh ym. 2012, 6.)

BAEP-monitoroinnin päätavoitteena on havaita muutokset kuuloradan toiminnassa ja varoittaa kirurgia ennen kuin muutokset ovat peruuttamattomia (Dong 2016, 53). BAEP:n avulla pyritään turvaamaan kuulon säilyminen sekä minimoimaan leikkauksen jälkeiset neurologiset haitat (Dong 2016, 53; Martin & Stecker 2008, 81). BAEP on objektiivinen tutkimus, johon tajunnantasolla tai anesteteilla on vain minimaalinen vaikutus (Dong 2016, 53). BAEP:n monitorointi on kuitenkin haastavaa ja vaste vaatii tarkkailua koko kirurgisen toimenpiteen ajan (Oh ym. 2012, 4; Jääskeläinen ym. 2006, 735 - 736). BAEP:n leikkausvalvonta, edes yhdistettynä CNAP:in tai ECOG:in rekisteröimiseen, ei takaa potilaan kuulon säilymistä (Oh ym. 2012, 5 - 6).

Ilman selkeää lähtötason määrittystä BAEP:n leikkausvalvonta voi olla jopa mahdotonta (Moberly & Welling 2015, 124). CNAP:n leikkausvalvonta taas on usean tutkimuksen mukaan luotettavin kuuloradaston toimintaa mittaava IOM-menetelmä ja ennustaa parhaiten postoperatiivista kuulon säilymistä (Moberly & Welling 2015, 124; Oh ym. 2012, 6; Yamakami ym. 2008, 224 - 226).

CNAP antaa lähes reaaliaikaista tietoa kuulohermion toiminnasta (Yamakami ym. 2008, 225). Ison kasvaimen painaessa kuulohermoja, ei kasvaimen puolella luultavimmin ole ennen leikkaustakaan kuuloa jäljellä. Monitoroimalla tällaisessa tapauksessa kontralateraalista BAEP:a voidaan turvata aivorungon toiminnan säilyminen. (Martin & Stecker 2008, 81.)

2.3 Aivokasvainkirurgian aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta

Aivokasvaimet ovat keskushermoston kasvaimia, jotka voivat oireilla monin eri tavoin. Oireet riippuvat kasvaimen koosta, sijainnista ja kasvunopeudesta. Tavallisimpia oireita ovat epileptiset kohtaukset, voimakas päänsärky ja pahoinvointi tai toiminnanohjauksen säätelyn muutokset. Paikallistavina oireina voivat olla muun muassa aivorungon kasvaimiin liittyen kaksoiskuvat ja nielemisvaikeudet. Kallionpohjan kasvainten aiheuttamia oireita ovat hajuainin huononeminen, kahtena näkeminen tai muutokset kasvojen sensoriikassa tai motorikassa. (Mäenpää & Halonen 2016, 11 - 14.) Keskushermostolähtöisistä kasvaimista 90 % on aivoissa ja loput 10 % selkäytimessä. Selkäytimen kasvaimista johtuvina ensimmäisinä oireina voivat olla alaraajojen tuntohäiriöt ja lihasheikkous (Atula 2015-05-22).

Aivokasvainkirurgian päätavoitteena on saada poistettua mahdollisimman paljon kasvainkudosta aiheuttamatta pysyviä neurologisia haittavaikutuksia. Huolellinen preoperatiivinen kuvantaminen ja suunnittelu on tärkeää, jotta voidaan määrittää, kuinka laajasti kasvainta voidaan poistaa sekä räätälöidä leikkausvalvontasuunnitelma sen mukaan. (Ottenhausen, Krieg, Meyer & Ringer 2015, 9; Szelényi 2009, 1.) Kasvaimen sijainnista riippuen toiminnallisten alueiden, kuten liikeaivokuoren ja puhealueen sekä niiden subkortikaalisten ratojen, tunnistaminen ja toimintojen turvaaminen on tärkeää (Ottenhausen ym. 2015, 1). Mitä suuremman kasvaimen poisto on kysymyksessä, sitä suurempi on riski leikkauksen jälkeiselle komplikaatiolle (Szelényi 2009, 1).

Puhealueen ja liikeaivokuoren kartoitus ennen leikkausta ja leikkauksen aikana ovat jo vakiintuneita toimintatapoja aivokasvainkirurgiassa. Erilaisilla kuvantamis- ja kartoitustekniikoilla voidaan arvioida kasvaimen poiston ja siitä aiheutuvien riskien mahdollisuutta sekä leikkausvalvonnan tarpeellisuutta. Myös kirurgisen toimenpiteen ja lähestymistavan suunnittelussa näistä ennen leikkausta tehtävistä tutkimuksista on hyötyä. Leikkauksen aikaisen kartoituksen avulla voidaan tehdä maksimaalinen resektio ja tarkkailla neurologisten toimintojen säilymistä. (Ottenhausen ym. 2015, 1 - 2.)

Funktionaalisella MRI-kuvauksella (fMRI) voidaan arvioida aivokasvaimen sijaintia suhteessa toiminnallisiin alueisiin, mutta tarkempaan puhealueen tai liikeaivokuoren kartoitukseen se ei ole luotettava tekniikka (Ottenhausen ym. 2015, 2 - 3). Diffuusoritensorikuvaukseen (DTI) perustuvalla traktografialla voidaan arvioida kasvaimen sijaintia suhteessa kortikospinaaliseen radastoon (Ottenhausen ym. 2015, 4 - 5). Myös neurofysiologisten menetelmien avulla voidaan paikantaa aivojen rakenteita ja tutkia aivorungon toimintaa ennen leikkausta (Mäenpää & Halonen 2016,

21). Magnetoenkefalografiaa (MEG) voidaan hyödyntää ennen leikkausta sentraalisen sulkuksen paikantamisessa, primaarisen kuulo- ja näköaivokuoren kuvantamisessa sekä puhealueen ja liikeaivokuoren määrittämisessä. Preoperatiivisella navigoivalla transkraniaalisella magneettistimulaatiolla (nTMS) voidaan kartoittaa toiminnallisten alueiden paikka tai aivokasvaimen vuoksi muuttunut anatominen edustusalue. Aktivoimalla liikeaivokuorta yksittäisellä TMS-pulsilla voidaan motorinen kynnyks määrittää yhtä tarkasti, kuin suoralla kortikaalisella stimulaatiolla leikkauksen aikana. Sarjapulsseina annettavaa inhihoivaa rTMS:ää voidaan käyttää puhealueen kartoituksessa aiheuttaen puheentuotonhäiriöitä, joiden perusteella voidaan paikantaa puhealueet ennen leikkausta. (Ottenhausen ym. 2015, 3 - 4.)

Kun neurokirurgiset toimenpiteet koskevat suuria kasvaimia, jotka painavat aivorunkoa, on MEP:en leikkausvalvonnasta hyötyä (MacDonald ym. 2013, 2308; Dong ym. 2005, 589). Muun muassa takakuoppa-, aneurysma- ja kaulavaltimokirurgian sekä kallo-kaularankaliitosoperaatioiden aikana MEP:n leikkausvalvonta on katsottu perustelluksi (MacDonald ym. 2013, 2308). Takakuopan kasvaimet ovat usein lähellä aivohermoja ja laskevia liikeratoja. Kasvaimet voivat myös ympäröidä aivorungon verenkierron vastaavia suonia. Tällöin kortikobulbaarisen ja -spinaalisten ratojen toiminnan seuraaminen on tärkeää. (Szeléyi 2016, 65 - 66.) Bozinovin ym. (2015) tutkimuksessa MEP:n todettiin olevan turvallinen menetelmä lasten ja nuorten erilaisten aivokasvainten kirurgisten toimenpiteiden leikkausvalvonnassa (Bozinov ym. 2015, 794). MEP-rekisteröinnillä voidaan turvata liikeaivokuoren toiminta myös epileptisen pesäkkeen poiston aikana (MacDonald ym. 2013, 2308). Myös SEP:n avulla voidaan monitoroida aivorunkotason toimintoja (Martin & Stecker 2008, 82; Dong ym. 2005, 589). Yhdessä EEG:n kanssa SEP:n leikkausvalvonnalla voidaan havaita iskemian syntyminen kirurgisten toimienpiteiden, kuten aneurysman sulun ja verisuoniepämuodostumien hoidon aikana, kun toimenpide rajoittuu keskimmäisen tai etummaisten aivovaltimon alueelle. Nämä valtimot huolehtivat käden ja jalan sensorisen edustusalueen verenkierron. (Toleikis 2010, 44 - 45.)

Suora kortikaalinen stimulaatio (Direct Cortical Stimulation, DCS) ja kartoitus

Suoraa kortikaalista stimulaatiota (Direct Cortical Stimulation, DCS) voidaan käyttää aivokuoren toiminnallisten alueiden tunnistamisessa leikkauksen aikana. Tässä menetelmässä paljastettua aivokuorta stimuloidaan systemaattisesti elektrodikärjellä. (Ottenhausen ym. 2015, 7.) Myös subduraalisia strip-elektrodeja voidaan käyttää stimulaatiossa (MacDonald ym. 2013, 2299; Journee 2008, 222; Sala ym. 2002, 271). DCS on kultainen standardi puhealueen kartoituksessa valvkekraniotomian aikana (Fernández-Conejero 2016, 56). Valveilla olevaa potilasta testataan antamalla korkeataajuisia stimulaatiosarjoja muun muassa lasku-, nimeämis- ja lukutehtävien aikana (Ottenhausen ym. 2015, 7). Testattaessa potilasta motorisen puhealueen (Broca) stimulaatio aiheuttaa puhumattomuutta, sananlöytämisenvaikeutta tai puheen hidastumista (Fernández-Conejero 2016, 56). Liikeaivokuorella sijaitsevan kasvojen edustusalueen paikantamisella varmistetaan, ettei puhumattomuus johdu suun alueen lihasten liikkeistä vaan Brocan

alueen stimulaatiosta (Sala ym. 2002, 273). Tuntoaivokuoren testaus voi aiheuttaa pistelyä, tunnottomuutta tai puutumista siihen kehonosaan, jonka edustusalueita stimuloidaan. Myös aivorungon liiketumakkeita voidaan stimuloida suoraan. (Fernández-Conejero 2016, 56.) DCS:ää voidaan hyödyntää myös epilepsiakirurgiassa, mikäli epileptogeeninen alue on lähellä liikeaivokuorta (Ulkata, Jaramillo, Téllez, Kim ym. 2017, 1299).

Elektrokortikografia (Elektrocorticography, ECoG)

DCS:n korkeataajuisen stimulaatiosarjojen on todettu aiheuttavan harvakseltaan jälkipurkauksia, jotka voivat edetä epileptisiksi kohtauksiksi (MacDonald ym. 2013, 2307). Epilepsiakirurgiassa jatkuvalla elektrokortikografialla (ECoG) on tärkeää seurata aivojen sähköistä toimintaa epileptisten purkausten varalta (Ottenhausen ym. 2015, 7; MacDonald & Deletis 2008, 890; Sala ym. 2002, 273). ECoG:aa voidaan hyödyntää myös liikeaivokuoren paikantamisessa. Kraniotomian aikana suoraan aivojen pinnalle asetettavalla grid-elektrodilla voidaan valvoa SEP-vasteita erikseen jokaisen gridissä olevan elektrodin kohdalta. Vasteen polariteetin kääntyminen (vaiheenkääntö) määrittää sensorisen ja motorisen alueen rajan. (Toleikis 2010, 44 - 45; Sala ym. 2002, 271.) Tämän jälkeen voidaan edelleen esimerkiksi strip-elektrodin avulla stimuloida aivoja keskiuurteen etupuolelta pienimmällä mahdollisella virralla, mitata MEP-vasteet kasvojen, ylä- tai alaraajojen lihaksista kontralateraalista puolelta, ja varmistua keskiuurteen oikeasta paikantamisesta (Journee 2008, 222).

Subkortikaalinen stimulaatio (Subcortical stimulation, SCS) ja kartoitus

Osana aivokasvaintarkkailun neurofysiologiseen leikkausvalvontaan liittyy kultaisena standardinakin pidetty sähköisellä stimulaatiolla tehtävä anatominen kartoitus. Kartoituksen tarkoituksena on määrittää ja erottaa tarkasti kasvaimen alue toimivasta hermokudoksesta ja ohjata kirurgiaa niin, että mahdollisimman suuri osa kasvaimesta saataisiin poistettua aiheuttamatta potilaalle neurologisia vaurioita. (Ottenhausen ym. 2015, 5 - 6.) Motorisia toimintoja voidaan MEP:n leikkausvalvonnan lisäksi turvata muun muassa subkortikaalisen stimulaation (SCS) avulla. Monet kokeneet neurokirurgit pitävät SCS:ta turvallisena ja luotettavana menetelmänä, kun operoidaan kortikospinaalisen radaston ja valkean aineen läheisyydessä. Monopolaarisella elektrodikärjellä annetun korkeataajuisen train-of-five -stimulaation on todettu olevan tehokkain tekniikka kortikospinaalisen radaston tunnistamiseksi. Menetelmä perustuu teoriaan, jonka mukaan stimulaatiovoimakkuus eli MEP:n kynnysarvo, on suoraan verrannollinen kortikospinaalisen radaston etäisyyteen stimulaatiopisteestä. Korrelaatio stimulaation ja etäisyyden välillä ei kuitenkaan ole selvä ja uusimmat tutkimukset viittaavat siihen, että stimulaatiopiste onkin lähempänä kortikospinaalista radastoa kuin "1 mA = 1 mm" -teoria antaa olettaa. (Ottenhausen ym. 2015, 7.)

Visuaalinen herätepotentiaali (VEP)

Visuaalisella herätepotentiaali (visual evoked potential, VEP) -tutkimuksella kartoitetaan näköradaston toimintaa (York 2008, 172). Laboratorio-olosuhteissa VEP-vasteet saadaan toistettavasti esille virkeiltä ja tarkkaavaisilta potilailta, kun käytetään shakkiruudukon kaltaista kuvioärsykettä tai vilkkuvaa valoa (Rajan, Simon & Nair 2016, 2 - 3). Leikkaussaliolosuhteissa nukutettujen potilaiden suljettujen luomien päälle asetetaan stimulaattorilasit. Näiden niin sanottujen goggles:ien toiminta perustuu vilkkuviin LED-valolähteisiin. (Rajan ym. 2016, 5; York 2008, 174.) Vasteiden osalta leikkauksen aikainen LED-VEP vastaa välke-VEP:ä (Thirumala, Habeych, Crammond & Balzer 2011, 540).

VEP:n monitoroinnissa on käytetty perinteisiä EEG-elektrodeja ihon pinnalla, mutta myös kortikaalisia rekisteröintielektrodeja elektrokortikografian aikana (Rajan ym. 2016, 6; Thirumala ym. 2011, 540 - 541). Näköhermon toimintaa on rekisteröity myös suoran sähköisen stimulaation aikana hermon pinnalta (Rajan ym. 2016, 7; San-juan, Cortés, Tena-Suck, Orozco Garduño ym. 2016, 1060 - 1062). DTI-traktografialla on myös leikkauksen aikana kuvannettu näköradastoa, mutta menetelmä on tarkka vain näköradaston talamuksen jälkeisten (post-thalamic) yhteyksien kuvantamisessa (Rajan ym. 2016, 7).

Leikkauksen aikaista VEP:ä on hyödynnetty muun muassa okkipitaalialueen kasvainten poiston yhteydessä. Transsfenoidaalikirurgian aikana on myös monitoroitu VEP:ä. (Rajan ym. 2016, 5 - 6; York 2008, 175.) Tällaisella nenän kautta tehtävällä tähystystoimenpiteellä voidaan poistaa kookas hypofyysiadenooma eli aivolisäkkeen kasvain, joka painaa näköhermoa ja aiheuttaa näön heikkenemistä tai laajentaa aivokammioita (Mäenpää & Halonen 2016, 43 - 44). Myös taka-kuoppakirurgiassa on näköradaston toimintaa monitoroitu (Rajan ym. 2016, 7; Moberly & Welling 2015, 125; York 2008, 175). Epilepsiakirurgiaan liittyen ja kiasman seudun gliooman poiston yhteydessä on raportoitu näköradaston vaurioita (Thirumala ym. 2011, 539). Näköhermon verenkierron estyminen esimerkiksi aneurysmakirurgian aikana voi aiheuttaa iskeemisen hermovaurion (Rajan ym. 2016, 6; Kodama, Goto, Sato, Sakai ym. 2010, 647). Kirurginen toimenpide voi vaurioittaa näkörataa myös mekaanisesti; esimerkiksi näköhermon venytys voi aiheuttaa postoperatiivisia näköongelmia (Kodama ym. 2010, 647). Myös leikkaava instrumentti voi vaurioittaa näköhermoa- tai juostetta (Rajan ym. 2016, 6).

Leikkauksen aikaisen VEP:n haasteena on ollut luotettavien vasteiden rekisteröiminen ja se on rajoittanut menetelmän käyttöä (Rajan ym. 2016, 1; 9). Fysiologiset ja tekniset seikat tulee huomioida VEP:n monitoroinnissa ja vasteiden tulkinnassa. Teknisiä seikkoja ovat muun muassa stimulaatio- ja rekisteröintiasetukset sekä se, miten stimulaatio tavoittaa verkkokalvon. (Rajan ym. 2016, 7 - 8.) Neurokirurgisten instrumenttien aiheuttamat artefaktat häiritsevät myös usein VEP-monitorointia (San-juan ym. 2016, 1062). Kuten SEP- ja MEP-vasteisiin (Sloan & Jäntti 2008, 115), anestesiatyypillä on huomattava vaikutus myös VEP-vasteiden rekisteröimiseen.

Laskimoanestesiaa (total intravenous anaesthesia, TIVA) tulisi suosia ja inhaloitavien anesteettien käyttöä välttää. (Rajan ym. 2016, 9; Thirumala ym. 2011, 542.) Vasteet vaihtelevat paljon potilaasta toiseen, mutta myös yksilönsäinen vaihtelu voi heikentää VEP-vasteen luotettavuutta IOM:ssa (San-juan ym. 2016, 1062).

2.4 Farmakologiset ja fysiologiset näkökohdat neurofysiologisissa leikkausvalvonnoissa

Anestesia-aineilla on omat vaikutusmekanisminsa ja ne ilmenevät eri tavoin aiheuttaen kullekin aineelle tyypilliset EEG-muutokset (Jäntti & Sloan 2008, 77). Koska herätepotentiaalimittaukset perustuvat ärsykkeen aikaansaaman EEG-vasteen rekisteröimiseen, voi syvä anestesia estää herätevasteen rekisteröinnin. Toisaalta osa anesteeteista voi aiheuttaa esimerkiksi purkaustoimintaa aivokuorella ja saada näin aikaan herätevasteen amplitudin suurenemisen. (Sloan & Jäntti 2008, 94, 97.) Anestesian syvyys ja inhaloitavien anesteettien lisääminen on suoraan verrannollinen esimerkiksi SEP-vasteiden amplitudin pienenemiseen (Strommen 2009, 757; Nuwer & Packwood 2008, 186 - 187; Jääskeläinen ym. 2006, 744). Varsinkin MEP-vasteet ovat varsin herkkiä inhaloitaville anesteeteille (Strommen 2009, 764; MacDonald ym. 2013, 2313; Sloan & Jäntti 2008, 100 - 101, 104; Jääskeläinen ym. 2006, 744). Laskimoanestesia on paras valinta elektrofysiologista leikkausvalvontaa ajatellen (Toleikis 2015, 188).

Leikkausasennon valinnassa tulisi kiinnittää huomiota raajojen asentoon, jotta vältetään perifeerisiltä hermovammoilta ja niiden aiheuttamilta vastemuutoksilta. Osa leikkausasunnoista aiheuttaa suuremman riskin ääreishermoston venytykselle ja painevaikutukselle. Yläraajoista varsinkin ulnaris-hermo on altis iskemian aiheuttamalle hermovammalle. SEP-monitoroinnilla voidaan seurata myös leikkausasennosta johtuvia muutoksia vasteissa ja välttää hermovaurioiden syntymisen. (MacDonald ym. 2013, 2309; Kamel, Drum, Koh, Whitten ym. 2006, 1541 - 1542.)

EMG- ja MEP- valvontojen vuoksi lihasrelaksantin käyttöä tulee välttää tai pitää käyttö mahdollisimman vähäisenä, sillä se vaikuttaa hermolihaskuitoksen toimintaan (Journée 2008, 224; Leppanen 2005, 441). Toisaalta SEP-vasteet ovat paremmin rekisteröitävissä, kun esimerkiksi niskan alueen lihasten toiminta on vähentynyt (Toleikis 2010, 32).

Leikkauksessa paljastettujen kudosten jäähtyminen aiheuttaa latenssipidentymää muun muassa SEP-vasteissa (Toleikis 2010, 33 - 34; Nuwer & Packwood 2008, 187; Jääskeläinen ym. 2006, 743), BAEP-vasteissa (Journée 2013, 244; Martin & Stecker 2012; Oh ym. 2012, 5; ACNS 2009c; Jääskeläinen ym. 2006, 736) sekä MEP-vasteissa (MacDonald ym. 2013, 2306; Pajewski ym. 2007, 122). Lämpötilan laskun on todettu pidentävän myös VEP-vasteiden latensseja (Rajan ym. 2016, 7). Alle 28 °C:ssa kortikaaliset SEP-vasteet ja spinaaliset MEP-vasteet häviävät. Myös lämpötilan nousun on havaittu vaikuttavan sekä SEP- että MEP-vasteisiin. Lämpötilan nousun vaikutus on tiettyyn pisteeseen asti viilenemiselle vastakkainen, mutta yli 42 °C:ssa kortikaaliset SEP-vasteet ja spinaaliset MEP-vasteet alkavat vaimentua. Leikkausvalvonnan kannalta potilaan

ydinlämpötilan tulisi olla $\pm 2\text{--}2,5$ °C:tta perustason lämpötilasta. (Pajewski ym. 2007, 121 - 122.) Verenpaineen lasku aiheuttaa BAEP-vasteiden latenssien pitenemistä ja amplitudin laskua (ACNS 2009c). Äkillisen verenpaineen laskun on todettu vaimentavan kortikaalisia SEP-vasteita (Toleikis 2010, 34 - 35). Myös MEP-vasteiden pieneneminen voi johtua odottamattomasta verenpaineen laskusta (MacDonald ym. 2013, 2304). Subkortikaaliset SEP-vasteet eivät reagoi niin herkästi anestesian tai verenkierron muutoksille kuin kortikaaliset vasteet (Pajewski ym. 2007, 122). VEP:n amplitudi on herkkä verenkierron häiriöille ja matala verenpaine voi aiheuttaa jopa vasteiden katoamisen (Rajan ym. 2016, 7; York 2008, 174). Myös tilanteissa, joissa aivopaine (intracranial pressure, ICP) on noussut, VEP-vasteissa on ollut nähtävissä latenssin pidentyminen ja amplitudin pieneneminen (Sloan & Jäntti 2008, 113).

2.5 Turvallisuusnäkökohdat neurofysiologisissa leikkausvalvonnoissa

Normaalisti neurofysiologisella leikkausvalvonnalla parannetaan potilaan mahdollisuuksia selvittää leikkauksesta mahdollisimman vähillä hermostovaurioilla. Kuten muissakin lääketieteellisissä toimenpiteissä, voidaan leikkausvalvonnankin aikana tahattomasti vaarantaa potilasturvallisuus. (MacDonald & Deletis 2008, 882.) Leikkausvalvonnan turvallisuutta voidaan tarkastella kolmesta eri näkökulmasta: potilasturvallisuuden, leikkaussalihenkilöstön toiminnan, IOM- ja leikkaussali-laitteistojen sekä -välineistön kannalta (Shils 2016, 21).

Sähköturvallisuus muodostaa yhden kriittisimmistä turvallisuusnäkökohdista. IOM-laitteistot, kuten muutkin potilaaseen kytketyt sähköllä toimivat lääkinnälliset laitteet, tuottavat vuotovirtaa, joka voi siirtyä potilaaseen johtavien, varaavien tai induktiivisten piirien kautta. Leikkausvalvonnan aikana potilaaseen on kytkettynä useita johtimia, jolloin potilaan kautta kulkevan merkittävän vuotovirran riski kasvaa. On hyvä muistaa myös keskuslaskimokatetri, josta on suora suoniyhteys sydämeen. IOM-laitteiston mikään osa ei saa olla katetrin läheisyydessä tai sähköisessä kontaktissa siihen. (MacDonald & Deletis 2008, 882 - 883.) Neurofysiologian laitteiston, jonka tarkoituksena on tuottaa sähköärsykeitä potilaalle tai välittää elektrofysiologista signaalia potilaasta laitteistoon, on oltava suojausluokituksen potilasliityntäosiltaan vähintään Body float (BF) -tyyppiä (IEC 60601-1:2005, 139). IOM-laitteiston toimintaa tulee tarkkailla. Laitteisto tulee tarkastaa käyttöönoton yhteydessä ja huoltomittaukset tehdä säännöllisesti, sekä aina epäiltäessä toimintahäiriötä ja valmistajan suosituksen mukaan. (MacDonald & Deletis 2008, 884.)

Monitoroinnissa käytettävien invasiivisten elektrodien tulee olla laadukkaita ja huolella asetettu (MacDonald & Deletis 2008, 885). Suomessa Valvira edellyttää markkinoilla olevien lääkinnällisten laitteiden ja tarvikkeiden olevan valmistajan antamien tietojen mukaan tähän käyttöön tarkoitettuja ja CE-hyväksytyjä. Potilaan, käyttäjän tai muun henkilön terveys tai turvallisuus ei saa vaarantua laitteen tai tarvikkeen asianmukaisen käytön seurauksena. (FINLEX 2010-06-24.) Huonot elektrodikontaktit voivat altistaa potilaan erilaisille sähköturvallisuusriskeille, kuten

palovammoille. Korkeat elektrodi-impedanssit saattavat lisätä palovammanriskiä esimerkiksi kirurgista diathermialaitetta käytettäessä. Diathermialaitteen neutraalelektrodin tulisi olla pinta-alaltaan mahdollisimman suuri, lähellä leikkausaluetta ja hyvin kiinnitetty, jotta paluvirta ei aiheuttaisi palovammaa potilaalle. Diatermiavirta pyrkii palaamaan muita teitä takaisin laitteeseen, mikäli neutraalelektrodin kontakti on huono. Tämä voi aiheuttaa palovammoja esimerkiksi leikkausvalvontaelektrodien kohdalle. Pinta-alaltaan pienten elektrodien, kuten neulaelektrodien, kohdalla virran tiheys on suuri ja näihin syntyvä kuumuus voi aiheuttaa palovamman. Myös vahvistimen saturaatio ja mahdollinen rikkoutuminen diathermialaitteen ollessa käytössä tulee huomioida. Pitää huolehtia myös siitä, että IOM-laitteiston kaapelit eivät risteä tai kulje diathermialaitteen kaapeleiden kanssa yhdessä tai samansuuntaisesti. (MacDonald & Deletis 2008, 885.)

Leikkaussalihenkilöstön tulee olla tietoinen monitorointitarkoituksessa potilaaseen asennetuista elektrodeista ja kytketyistä kaapeleista. Kaapeleiden kunnolliseen kiinnityksen kanssa tulee olla tarkkana, jotta ne eivät irtoa esimerkiksi potilaan siirtelyn tai asennon muutosten yhteydessä. Leikkaussalihenkilöstölle tulee tiedottaa käytössä olevista neulaelektrodeista, jotka voivat irrotessaan aiheuttaa pistotapaturmia. Leikkaussalissa on huolehdittava, että kaapelit vedetään siisteinä nippuina ja suojassa, henkilöstön kulkureittejä vältellen. (Shils 2016, 21.) Myös elektroniikka, kuten rekisteröinti- ja stimulaatioliitäntäkytkimet, sijoitetaan mahdollisuuksien mukaan leikkausalueen ulkopuolelle. Elektroniikka on suojattava roiskeilta ja suojauksessa on otettava huomioon ylikuumenemisvaara, varsinkin pitkien leikkausten aikana. (Shils 2016, 21; MacDonald & Deletis 2008, 893.)

Myös paloturvallisuusriski on todellinen leikkaussaliolosuhteissa, joissa happi- ja typpikaasun käyttö on tavallista. Elektrokirurgisten laitteiden sytyttämät leikkaussalipalot ovat aiheutuneet palavien nesteiden ja materiaalien syttymisestä. Alkoholipohjaisten puhdistusaineiden käyttöä tulisi välttää elektrokirurgisen toimenpiteen aikana. (MacDonald & Deletis 2008, 884.)

Toistuvia stimulaation aiheuttamia haittoja ei ole BAEP- ja VEP-valvonnoissa raportoitu. Liian voimakkaan, hermon suoran sähköisen stimulaation aiheuttamia vaurioita voivat olla kudoksen kuumeneminen, haitallisten välittäjäaineiden muodostuminen tai elektrokemialliset vauriot elektrodin ja kudoksen välillä. (MacDonald & Deletis 2008, 887.) EMG:n on katsottu olevan verrattain turvallinen menetelmä, mutta neulaelektrodien asettaminen saattaa aiheuttaa verenpurkauman lihaksen sisälle. SEP on myös turvallinen leikkausvalvontamenetelmä. Proksimaalinen stimulaatio voi kuitenkin aiheuttaa voimakkaan raajan liikkeen, jos potilasta ei ole relaksoitu. (MacDonald & Deletis 2008, 891.)

MEP:n sähköisen stimulaation aiheuttamista haitoista on enemmän tietoa, vaikka vain osa näistä tapauksista on raportoitu ja julkaistu (MacDonald & Deletis 2008, 891). Aivokuoren suora stimulaatio (direct cortical stimulation, DCS) voi saada aikaan purkauksellista toimintaa ja

yleistyessään se saattaa aiheuttaa epileptisen kouristuskohtauksen, jolla taas voi olla vakavat seuraukset (MacDonald & Deletis 2008, 890). Myös transkraniaalisen stimulaation on todettu aiheuttaneen epileptisiä kohtauksia, tosin hyvin harvoin (5/15000, 0,03 %) (Legatt ym. 2016, 49). Aivorungon suora sähköinen stimulaatio voi aiheuttaa rytmihäiriötä ja verenpaineen vaihtelua, mutta tilanne rauhoittuu nopeasti stimulaation loputtua. Epileptiset purkaukset ovat kuitenkin melko harvinaisia, kuten myös rytmihäiriöt. Invasiivinen selkäytimen stimulaatio saa aikaan voimakkaan paraspinaalilihasten supistelun ja vaatiikin täydellisen lihasrelaksaation, mikäli menetelmä on käytössä. Tällöin taas MEP-vasteiden mittaaminen ei onnistu. Liikkeen aiheuttamat hermoston vammat ovat mahdollisia pääasiassa neurokirurgisten toimenpiteiden ja kaulan alueen kirurgian aikana. (MacDonald & Deletis 2008, 890 - 892.)

Tutkimuksessaan transkraniaalisen MEP:n aiheuttamien suun alueen vaurioiden yleisyydestä Tamkus & Rice (2012) totesivat kielen ja hampaiden vaurioiden olevan harvinaisia (esiintymistiheys 0,63 %) leikkauksen aikaisen MEP:n komplikaatioita. Heidän aineistossaan (111/17273) vaurioiden vakavuus vaihteli lievestä huulivaurioista, kielen turpoamiseen ja syviin haavaumiin, ja jopa etuhampaan katkeamiseen. (Tamkus & Rice 2012, 663 - 664.) MacDonaldin (2002) kirjallisuuskatsauksen mukaan kielen ja huulen haavaumia sekä alaleuan murtumia on raportoitu esiintyneen 0,2 % leikkauksissa (30/15000), joissa on valvottu MEP:ä. (MacDonald 2002, 425).

Pehmeän hammassuojan käyttö voi ehkäistä kielen ja hampaiden vaurioiden syntymistä (Legatt ym. 2016, 49; MacDonald & Deletis 2008, 892; MacDonald 2002, 425). Myös poskihampaiden väliin asetettavilla vanurullilla voidaan suojata kieltä ja hampaita (MacDonald ym. 2013, 2307). Suojan tulisi olla riittävän suuri ja se tulisi asetella huolellisesti ja niin, että potilaan käännöstä huolimatta suoja pysyy paikallaan. Kovemmassa muovista valmistettua nielutuubia tai endotrakeaalista tuubia ei suositella käytettävän. Leikkausvalvonnan aikana tulisi säännöllisin väliajoin tarkastaa hammassuojan tilanne. (Tamkus & Rice 2012, 667.)

Leikkaussalikäytäntöjen hallitsemisen tärkeyttä ja infektioiden torjunnan merkitystä ei myöskään saa unohtaa. Huomio tulee kiinnittää aseptiseen työskentelyyn, jolla turvataan leikkaukseen tulevan potilaan toipuminen sekä taataan leikkaussalihenkilöstön työturvallisuus. Hyvästä käsihygieniasta tulee huolehtia. Erityistä varovaisuutta tulee noudattaa neulojen suhteen, niin laiton kuin poistonkin yhteydessä. (MacDonald & Deletis 2008, 892 - 893.) Koko IOM-laitteistokokonaisuuden huolellinen puhdistaminen jokaisen leikkauksen jälkeen on tärkeää (Shils 2016, 21; MacDonald & Deletis 2008, 893).

Raportissaan Tamkus ym. (2015) ottavat esille vaaratapahtumat ja läheltä piti -tilanteet. Tällaiset tapahtumat tulisi raportoida ja analysoida sekä järjestää tarvittaessa lisäkoulutusta henkilöstölle. Koulutustarvetta seurataan säännöllisellä suorituksen arvioinnilla, joka voi kohdistua yksittäiseen bioanalyttikkoon/laboratoriohoitajaan, leikkausvalvontatiimiin tai kirurgiin/kirurgeihin. Vaara-

tapahtumien käsittelyssä tulisi keskittyä myös selvittämään prosessissa olevaa systemaattista ongelmaa. (Tamkus ym. 2015, 49 - 50.)

Turvallisuuskulmana MacDonald & Deletis (2008) nostavat esiin myös neurofysiologisen leikkausvalvonnan hallinnan kokonaisuudessaan. Se pitää sisällään laitteiston teknisen hallinnan ja ongelmanratkaisutaidot sekä henkilöstön käytännön pätevyyden leikkausvalvonnan suorittamiseksi. (MacDonald & Deletis 2008, 893 - 895.) Myös leikkausvalvontojen lukumäärään ja sitä kautta monitorointikokemukseen kiinnitetään kansainvälisessä kirjallisuudessa huomiota. Skinner ym. (2014) toteavat suosituksessaan, että esimerkiksi 50 leikkausvalvonnan suorittaminen kokeneemman monitoroijan valvomana voisi olla osa käytännön harjoittelua ja pätevytymistä (Skinner ym. 2014, 110 - 111). Tutkimuksessaan Stecker & Robertshaw ovat todenneet, että mikäli leikkausvalvontatiimillä on kokemusta 300 monitoroinnista, sen katsotaan olevan kokenut. Jos taas leikkausvalvontojen määrä jää alle sadan, on leikkausvalvontatiimin kokemus valvonnoista vähäinen. (Stecker & Robertshaw 2006, 52 - 53.)

Britanniassa tehdystä kyselystä (Sanders 2016) ilmeni, että 66 %:lta valvontoja tekevilta henkilöiltä vaaditaan pätevyyden ja/tai kokemuksen osoittaminen yksikkökohtaisen linjauksen mukaisesti. Kuitenkin 69 % vastaajista ilmoittaa, että ohjatusti tehdyille leikkausvalvonnoille ei ole asetettu minimimäärää vaan itsenäinen monitorointi on mahdollista ilman ohjausta. (Sanders 2016.) Potilasturvallisuutta parantaa se, että lääkäri monitoroi vain yhtä potilastapausta kerrallaan, sillä huomion jakaminen tasapuolisesti vaativuudeltaan erilaisten tapausten välillä on vaikeaa. Lisäksi lääkäri ei saisi sitoutua samanaikaisesti muihin klinisiin työtehtäviin, sillä IOM vaatii jatkuvaa huomiota. (Skinner 2014, 107; Nuwer 2010, 4.) Skinnerin ym. (2014) mukaan leikkausvalvonta voidaan kuitenkin toteuttaa potilaskohtaisesti ja harkinnan mukaan joko vain etäyhteyden avulla, olemalla leikkaussalissa ja hyödyntämällä lisäksi etäyhteyttä tai olemalla leikkaussalissa koko toimenpiteen ajan (Skinner ym. 2014, 108).

Oikean ja riittävän nopean informaation antaminen kirurgille on haastavaa, varsinkin keskiarvoistamista ja aikaa vaativien herätepotentiaalien osalta. Harhaanjohtava informaatio, joka johtaa kirurgisen toimenpiteen keskeyttämiseen tai toisaalta kirurgisen toimenpiteen jatkamiseen, tulisi minimoida. Väärät positiiviset tulkinnat, joita seuraa leikkauksen ennenaikainen lopettaminen tai väärät negatiiviset tulkinnat, joiden perusteella toimenpide jatkuu, vaikka potilasturvallisuus vaarantuu, johtuvat riittämättömästä menetelmäkohtaisesta ja teknisestä osaamisesta sekä asiantuntemuksen puutteesta. Kokenut monitoroija on vastuussa leikkausvalvonnan suunnittelusta, toteutuksesta ja tulkinnasta. (MacDonald & Deletis 2008, 893 - 895.) Stecker & Robertshaw (2006) selvittivät kyselyllään, että kirurgin luottamus kokeneeseen monitoroijaan on vahvin. Myös luotettavin tulkinta koetaan saatavan monitoroijilta, joilla on korkein tutkinto, kokemusta ja ammattitaitoa sekä pätevyys. Kyselystä selvisi, että myös bioanalytiikot/laboratoriohoitajat tulkitsevat IOM-löydöksiä, vaikka ASET:n suositus koskee vain löydösten kuvailua. (Stecker & Robertshaw 2006, 54).

3 NEUROFYSIOLOGISEN LEIKKAUSVALVONNAN KANSAINVÄLISET SUOSITUKSET JA KANNANOTOT

Suosituksia laaditaan parantamaan potilaan hoitoa ja helpottamaan päätöksentekoprosessia. Suositukset pohjautuvat systemaattisiin kirjallisuuskatsauksiin ja tutkittuun tietoon. Niiden tarkoituksena on tarjota parasta saatavilla olevaa tieteellistä tutkimustietoa ja ajantasaisia ohjeistuksia terveydenhuollon käytäntöjen parantamiseksi ja hoitoreittien suunnittelemiseksi sekä kliinisten toimintatapojen tueksi. Suosituksia voidaan hyödyntää potilastyön laadun parantamisessa sekä laaduntarkkailussa. Suositusten noudattamisella vähennetään käytäntöjen kirjoa, lisätään tehokkuutta ja vähennetään kustannuksia potilasturvallisuutta edistäen. Suositusten asemaa osaamisen kehittämisen ja jatkuvan kouluttautumisen tukena ei pidä väheksyä. (Wollersheim & Grol 2005, 188.)

Kansallisten suositusten laatimisen tulisi perustua laajoihin aineistoihin. Vaikka niiden kerääminen ja käsittely on hidasta ja vaatii resursseja, on työ kuitenkin tarkoituksenmukaista. Suositukset tarjoavat viitekehyksen, joka on luotu systemaattisesti arvioitun aineiston pohjalta, ja jonka avulla vältetään epäsojivilta menettelytavoilta. Suosituksia tulisi laatia ja kehittää koordinoitusti luotettavien asiantuntijatahojen ja organisaatioiden toimesta. Luotettavien kliinisten suositusten laatiminen ja kehittäminen edellyttää kliinisen ja menetelmällisen potilastyön asiantuntemusta, millä myös edistetään yhteisymmärrystä ja estetään eturistiriitoja. Konsensukseen pyritään järjestelmällisen tarkastelun ja yhteisymmärryksen pohjalta. (Wollersheim & Grol 2005, 188 - 189.)

Suosituksien soveltuvuutta ja vaikutusta tulisi myös arvioida. Tulisi tietää ollaanko suosituksista tietoisia ja kuinka hyvin ne ovat saatavissa sekä sovelletaanko suosituksia käytännön työssä ja käytetäänkö niitä laadunseurannan apuna. Suositusten sisällön ja laadun suhteen tulisi olla kriittinen. Varsinkin nopeasti kehittyvillä aloilla suosituksia tulisi tarkastaa ja päivittää säännöllisesti. (Wollersheim & Grol 2005, 191.)

Monet suurimmat kliinisen neurofysiologian erikoisalayhdistykset ovat laatineet suosituksia IOM-käytäntöjen yhtenäistämiseksi (liite 3). Tässä opinnäytetyössä referoiduista suosituksista ja kannanotoista vanhin on vuodelta 1999 ja uusin vuodelta 2016. Suositukset ja kannanotot kattavat muun muassa IOM-menetelmien käyttökohteet ja menetelmäkuvaukset sekä pätevyysvaatimukset ja tehtävänjaon toteutusmallin. Mainittakoon, että International Society of Intraoperative neurophysiology (ISIN) on julkaisemassa omat suosituksensa lähitulevaisuudessa (MacDonald 2016b, 102).

3.1 International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN)

Britannian silloisen yhdistyksen The EEG Society:n presidentti toimi puheenjohtajana, kun ensimmäinen kliinisen neurofysiologian kansainvälinen kongressi pidettiin Lontoossa vuonna 1947. Pääpaino oli tuolloin EEG:ssä. (Nuwer & Lücking 2010a, 3.) International Federation rekisteröitiin järjestöksi vasta vuonna 1951 (Nuwer & Lücking 2010b, 11). Merkittävimpinä alan edistysaskeleina mainittakoon kansainvälisen 10–20 -järjestelmän kehittäminen ja julkaiseminen suosituksena vuonna 1958. (Nuwer & Lücking 2010c, 15.) Suomen Kliinisen Neurofysiologian yhdistys hyväksyttiin kansainvälisen järjestön jäseneksi 1970-luvun alussa. Tässä vaiheessa järjestössä oli 37 jäsenmaata. (Nuwer & Lücking 2010d, 37.)

Nykyisen nimensä International Federation of Clinical Neurophysiology (IFCN) järjestö sai vasta vuonna 1990 (Nuwer & Lücking 2010e, 79). Järjestöön kuuluu tällä hetkellä 59 jäsenmaata ympäri maailmaa. Myös tässä opinnäytetyössä myöhemmin esitellyt yhdistykset ACNS sekä BSCN kuuluvat IFCN:än. Jäsenmaat ovat maantieteellisen sijaintinsa mukaan jaettu neljään lohkoon. Näin kattojärjestö katsoo paremmin turvaavansa jäsenmaiden alueelliset koulutukselliset tarpeet. IFCN:n tavoitteena on koulutuksen tukeminen, parhaiden kliinisen neurofysiologian käytäntöjen kehittäminen ja tieteelliseen tutkimukseen kannustaminen. Lisäksi IFCN on laatinut mittavan määrän suosituksia laajasti kliinisen neurofysiologian menetelmistä ja pyrkii jatkuvasti kehittämään niitä käytäntöä tukeviksi. Yhdistyksen standardit, suositukset, ohjeistukset ja raportit on julkaistu yhdistyksen internetsivuilla. (IFCN 2017-07-03.)

Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: Guidelines of IFCN

IFCN:n suositus *"Intraoperative monitoring"* on vuodelta 1999 (Burke ym. 1999, 133 - 148). Siinä keskitytään kuvailemaan elektrokortikografia (ECoG), EEG, herätevastetutkimuksista BAEP ja SEP sekä kortikospinaalisen radaston toimintaa mittaavat menetelmät, lihas- ja hermovasteen rekisteröiminen sekä EMG. IFCN:n toinen suoraan leikkausvalvontoihin liittyvä suositus *"Applications of magnetic cortical stimulation"* on myös vuodelta 1999 (Rossini ym. 1999, 171 - 185). Siinä käsitellään kortikospinaalisen radaston mittauksia leikkausvalvonnan aikana transkraniaalisen sähköisen stimulaation avulla hieman suppeammin kuin Burke ym. (1999). Molemmat suositukset on laadittu ennen kuin transkraniaalisen MEP:n käyttö hyväksyttiin ja otettiin varsinaisesti käyttöön leikkausvalvontamenetelmänä leikkaussaleissa. Näihin suosituksiin on koottu perusasiat monitorointimenetelmistä, mutta osa termeistä ja teknisestä informaatiosta on päivittämättä. Lisäksi IFCN on julkaissut vuonna 2008 *"Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials"*, johon on päivityksen myötä lisätty SEP:n leikkausvalvontaa koskeva osuus (Cruccu ym. 2008, 1713 - 1714).

"Intraoperative monitoring"

Suosituksen alussa kuvataan neurofysiologisen leikkausvalvonnan tavoitteet, mahdollisuudet ja hyödyt. Yleisinä periaatteina suosituksessa korostetaan tiimityöskentelyn tärkeyttä. Leikkausvalvonta vaatii asiantuntevan henkilöstön eli pätevän neurofysiologin tai kokeneen ja pätevän bioanalyytikon/laboratoriohoitajan, jotta monitoroinnista saataisiin mahdollisimman suuri hyöty potilaalle. Sähköturvallisuuden merkitystä, tietoisuutta anestesiassa tapahtuvien muutosten vaikutuksista monitoroitaviin vasteisiin sekä dokumentaation ja laadunvarmistuksen osuutta tähdennetään. (Burke ym. 1999, 133 - 135.)

Suosituksessa käydään läpi ECoG-menetelmässä käytettävät elektrodit ja niiden asettelu, rekisteröintiin ja tulkintaan liittyviä seikkoja sekä käyttökohteita. Epilepsia- ja aivokasvainkirurgiassa ECoG:llä voidaan helpottaa leikattavan alueen rajaamista. ECoG:tä voidaan hyödyntää myös tunto- ja liikeaivokuoren paikallistamisessa vaiheenkäännön avulla. EEG-osiossa suositus keskittyy pääasiassa kuvailemaan kvantitatiivisen EEG-signaalin käyttöä. Suosituksen mukaan prosessoidun EEG:n käytöstä on hyötyä, mikäli tulkitsija on kokenut ja tunnistaa artefaktat. Tällöin myös käsittelemättömän (raw) EEG:n seuraaminen olisi tärkeää, jotta voidaan varmistua prosessoidun EEG:n laadusta. Rajallinen kanavamäärä on tällaisten laskennallisuuden ja trendeihin perustuvien kvantitatiivisten EEG-menetelmien huonoja puolia. (Burke ym. 1999, 133 - 139.)

BAEP on suosituksen mukaan haastava leikkausvalvontamenetelmä. Stimulaatioon ja rekisteröintiin liittyviä asioita, kuten stimulaatityyppi- ja taajuus sekä elektrodiasettelu käydään läpi (liite 4). Tulkintaan liittyviä seikkoja käsitellään hieman tarkemmin ja korostetaan, että BAEP:n leikkauksen aikainen valvonta vaatii tarkkaavaisuutta kaikissa kirurgian vaiheissa, sillä muutokset vasteissa riippuvat muutoksen aiheuttajasta. Tällaisia mekanismeja voivat olla iskemia, liiallinen venytys tai painevaikutus, kuumuus tai viileneminen. Kontralateraalisen BAEP:n monitoroiminen on aiheellista aivorungon ollessa vaarassa vaurioitua, varsinkin jos ipsilateraalista BAEP:a ei saada monitoroitua. Tekniset ongelmat, kuten rekisteröintielektrodien irtoaminen ja poraamisesta tai diatermiasta johtuvat artefaktat, tulisi tunnistaa ja ottaa huomioon. (Burke ym. 1999, 139 - 140.)

Suosituksen mukaan leikkauksen aikaisessa SEP:ssä stimuloitavat hermot tulisi valita tarkasti sen mukaan, mikä hermojuuri tai minkä dermatomin hermotus on vaarassa. Stimulaatio voi tapahtua myös epiduraalisesti avauksen jälkeen. Rekisteröintielektrodityyppinä mainitaan muun muassa neulaelektrodit aivokuoren ja niskan vasteiden mittaamiseen, nasofaryngeaalinen elektrodi nenänielun kautta ja esophaguselektrodi ruokatorven kautta tapahtuvaan rekisteröintiin. Teknisesti SEP toteutetaan leikkauksen aikana kuten laboratorio-olosuhteissakin. Suosituksessa vertaillaan aivokuorelta ja selkäytimestä sekä periferiasta saatavan informaation luotettavuutta ja mittausten herkkyyttä esimerkiksi anestesia-aineille. Suosituksessa otetaan myös huomioon

SEP:n rajoitukset, kuten teknisistä syistä johtuvat väärät positiiviset tulokset. Vaikka SEP-vaste tulisikin esiin, se ei kerro liikeradan toiminnasta eikä välttämättä siis todellisesta leikkauksen jälkeisestä ennusteesta. SEP:n käyttö tunto- ja liikeaivokuoren paikallistamisessa käsitellään myös lyhyesti (liite 5). (Burke ym. 1999, 140 - 142.)

Kortikospinaalisen radaston toimintaa voidaan siis mitata stimuloimalla liikeaivokuorta tai selkäydintä. Vasteet voidaan rekisteröidä suoraan selkäytimestä epiduraalisin elektrodein, perifeerisestä hermosta tai lihaksesta. Epiduraalisista rekisteröinneistä D-aallon tärkeys on huomioitu jo tässä suosituksessa ja rekisteröinnin edut ja heikkoudet on myös käyty läpi. Suosituksessa todetaan, että D-aalto on toistettava vaste, mutta rekisteröinnillä ei voida määrittää vauriopuolta. Aivokuoren ja selkäytimen stimulaatiolla saatavien lihasvasteiden mittauseriaatteet on selvitetty. Transkraniaalisen sähköisen stimulaation etuna on, että sitä voidaan käyttää kirurgisesta lähestymistavasta riippumatta. Tämä stimulaatiotapa tuottaa vaihtelevampia vasteita, joihin myös anestesia ja lihasrelaksantit vaikuttavat enemmän. Spinaalista stimulaatiota voidaan hyödyntää alemman selkäytimen alueen ja hermojuurten toiminnan mittaamisessa, mutta ei kaularankakirurgiassa. Spinaalinen stimulaatio ei häiritse SEP-rekisteröintiä. (Burke ym. 1999, 142 - 144.)

Suosituksessa mainitaan myös selkäytimen herätevastemittaus, jossa stimuloimalla esimerkiksi okahaaraketta saadaan rekisteröityä herätevaste joko epiduraali -tai subaraknoidaalitilasta. Tämä menetelmä mittaa tosin sekä nousevia että laskevia ratoja, mutta tilanteessa, jossa esimerkiksi perifeerinen neuropatia estää vasteiden mittaamisen raajojen ääreisosista, voidaan käyttää spinaalista herätepotentiaalimittausta. Myös neurogeenisen MEP:n mittaaminen on mahdollista. Siinä stimuloiva neulaelektrodi asetetaan okahaarakkeeseen ja vaste voidaan mitata ylä- tai alaraajojen suurimmista ääreishermosta keskiarvoistamalla. Suosituksessa kuitenkin todetaan, että tämä vaste kuvaa huonosti liikehermojen toimintaa, varsinkin inhaloitavaa anestesiaa käytettäessä. (Burke ym. 1999, 143.)

Suosituksessa käsitellään perifeerisen hermon stimulaatiolla esiin saadun lihasvasteen (compound muscle action potential, cMAP) ja hermovasteen (compound nerve action potential, cNAP) rekisteröiminen. Stimulaatio- ja rekisteröintiasetukset, poikkeavat löydökset, tulkinta sekä mahdolliset tekniset ongelmat käydään läpi. Hermoa voidaan stimuloida joko monopolaarisesti, jolloin riskinä on impulssin leviäminen laajemmalle kuin halutun hermon kohdalle tai bipolaarisesti, jolloin stimulaatio on paikallinen, mutta lähekkäin olevat katodi ja anodi voivat leikkausalueella olevan nesteen vuoksi aiheuttaa oikovirtauksen. Stimulaation voimakkuuteen ja elektrodivalintaan vaikuttaa stimulaatitavan lisäksi myös esimerkiksi hermotyyppi. (Burke ym. 1999, 145 - 147.)

cMAP:n rekisteröiminen voi olla avuksi, kun halutaan paikallistaa kasvaimen siirtämä hermo, tunnistaa hermorakenne kasvaikudoksesta tai tunnistaa, mikä hermo on kysymyksessä. cMAP on

toistettava ja suuri vaste, mutta ei ole aina mitattavissa esimerkiksi aiemman hermovaurion vuoksi. (Burke ym. 1999, 145.) cNAP rekisteröidään yleisimmin leikkausalueelta, jolloin myös stimulaatio on leikkausalueella. Esimerkiksi johtumiskatkoksen tai paikallisen hidastumisen määrittämisessä cNAP voi olla hyödyllistä rekisteröidä. Tulkinassa kehoitetaan tarkastelemaan vasteen amplitudia, sillä se kertoo toimivien aksonien määrästä. Vertailua kannattaa tehdä mittaamalla vasteiden amplitudia sekä stimuloiden leikkauskohdan ylä- ja alapuolelta. Tällöin vasteen amplitudin pieneneminen kertoo vaurion todellisesta voimakkuudesta. Suosituksessa käsitellään myös rekisteröinnistä ja stimulaatiosta johtuvia teknisiä ongelmia, niiden tunnistamista ja poistamista. (Burke ym. 1999, 146 - 147.)

Burke ym. (1999) käsittelee suosituksessa viimeiseksi spontaani-EMG -valvonnan. Teknisten seikkojen osalta käydään läpi suositeltavat rekisteröintielektrodit ja kehoitetaan turvaamaan elektrodien paikallaan pysyminen tarvittavin keinoin, kuten teippaamalla ja vedonpoistolla. Lihasrelaksanttien käyttöä tulisi välttää. Rekisteröintiasetusten lisäksi suosituksessa käsitellään muun muassa yleisimmät leikkaussalissa sähköhäiriöitä tuottavat laitteet. Suosituksessa todetaan, että mekaanisen tai metabolisten tekijöiden aiheuttaman hermoärsytyksen seurauksena syntyvät neurotooniset sarjat ovat tärkeimpiä spontaani-EMG:llä monitoroitavia ilmiöitä. Näitä sarjoja esiintyy suosituksen mukaan useammin aivohermojen kuin perifeeristen hermojen ärsytyksen seurauksena. Moninaiset muut lihasaktivaation merkit tulisi osata erottaa neurotoonisista sarjoista. Lisäksi suosituksessa kuvataan neurotoonisten sarjojen ilmenemistä ja herkkyyttä erilaisille hermoärsytyksille, kuten venytykselle tai huuhtelulle. (Burke 1999, 147 - 148.)

"Applications of magnetic cortical stimulation"

Liikeradan mittauksia käsitellään molemmissa IFCN:n suosituksissa. Rossinin ym. (1999) kirjoittamassa suosituksessa käydään läpi MEP-menetelmää pääasiassa magneettistimulaation näkökulmasta. Transkraniaaliseen sähköstimulaatioon perustuva MEP käsitellään melko yleisluonteisesti. Suosituksessa mainitaan lihaksista mitattavien vasteiden lisäksi epiduraalisen ja spinaalisen rekisteröinnin mahdollisuus. Suosituksessa todetaan anestesian vaikuttavan MEP-vasteisiin, mutta lyhyillä nopeataajuuksilla stimulussarjoilla voidaan saada esiin amplitudiltaan suurempia MEP-vasteita. Myös lihasrelaksantit ja kehon lämpötila vaikuttavat impulssin etenemiseen, läpimitaltaan erikokoisten hermosäikeitten synkronisaatioon sekä lihassupistuksen voimakkuuteen. Perustason mittauksien merkitystä korostetaan ja todetaan, että yhteistyön anestesiologin kanssa tulee toimia, jotta kaikki mittaukset saadaan tehtyä potilaan ollessa vakaalla anestesiatasolla, verenpaine ja syke mukaan lukien. (Rossini ym. 182 - 183.)

"Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials – Use of SEPs for intraoperative monitoring"

Tässä suosituksessa Cruccu ym. (2008) kokoaa leikkauksen aikaisen SEP:n tavoitteet kolmeen pääkohtaan. Nämä ovat neurologisen vaurion ehkäiseminen, syntyvien neurofysiologisten muutosten seuraaminen sekä keskiurteen paikantaminen (Cruccu ym. 2008, 1713). Neurologinen haitta voi syntyä iskemian tai mekaanisen vaurion seurauksena. Iskemiamuutokset voivat olla joko harmaan tai valkean aineen alueella, jolloin löydökset ovat molemmille ominaiset. Suosituksessa on kuvattu leikkauksen aikaisen SEP:n käyttökohteet, joita ovat skolioosi- ja aivorunkokirurgian lisäksi muun muassa kaulavaltimo- ja aorttakirurgia sekä aivoaneurysmakirurgia. Aorttakirurgiassa voidaan SEP:ä hyödyntää sopivan hypotermiatason ylläpitämiseksi. SEP:llä voidaan monitoroida sekä aivokuoren että aivorungon toimintaa, kun EEG on tällaisissa tapauksissa hyvin vaimeaa. Keskiurteen paikantaminen medianus-hermoa stimuloimalla perustuu vaiheenkäännön rekisteröintiin, ja vaste on mitattavissa tällä menetelmällä sekä päälaen iholta että suoraan aivokuoren pinnalta. (Cruccu ym. 2008, 1713 - 1714.)

3.2 American Clinical Neurophysiology Society (ACNS)

American Electroencephalographic Society (AEEGS), joka perustettiin vuonna 1946, nimettiin uudelleen American Clinical Neurophysiology Society:ksi (ACNS) vuonna 1995. Nykyinen nimi vastaa paremmin järjestön tehtävien ja tavoitteiden laajuutta. Tällä hetkellä ACNS on Yhdysvaltojen suurin lääketieteellinen erikoisalakijärjestö. Järjestö on sitoutunut laatimaan ja ylläpitämään kliinisen neurofysiologian ammatillisen huippuosaamisen standardeja sekä tarjoamaan asianmukaista koulutusta yhteistyössä neurologian, neurokirurgian ja psykiatrian kanssa. Tavoitteena on hoidon laadun parantaminen ja potilaan terveyden edistäminen. (ACNS 2017-06-14.) ACNS korostaa, että yhdistyksen suositukset on laadittu lähinnä yleisten periaatteiden julkaisemiseksi, ei niinkään tekniseksi ohjeeksi. Tarkoituksena ei ole ollut laatia tiukkoja sääntöjä, vaan antaa tilaa myös kehitystyölle, joka esimerkiksi neurofysiologisen leikkausvalvonnan (NIOM) alalla on jatkuvaa ja tarpeellista. Suositusten tarkoituksena on tarjota ehdotus NIOM:in suunnittelulle. Mikäli muita menetelmiä käytetään, tulisi käytännöille olla selkeät perustelut. (ACNS 2009a.)

ACNS on julkaissut suositukset neurofysiologisen leikkausvalvonnan periaatteista (2009a) sekä leikkauksen aikaisen SEP:n (2009b) ja BAEP:n (2009c) monitoroimiseksi. Vuonna 2012 ACNS julkaisi näyttöön perustuvan päivitetyn suosituksen selkärankakirurgian aikaisen SEP:n ja MEP:n monitoroinnista (Nuwer, Emerson, Galloway, Legatt ym. 2012). Legatt ym. (2016) ovat laatineet suosituksen transkraniaaliseen sähköiseen stimulaatioon (transcranial electrical stimulation, TES) perustuvan leikkauksen aikaisen MEP:n suorittamiseksi, ja myös se on julkaistu ACNS:n sivuilla.

Guideline 11A: Recommended Standards for Neurophysiologic Intraoperative Monitoring – Principles

ACNS:n (2009a) suositus 11A koskee neurofysiologisen leikkausvalvonnan (NIOM) perusperiaatteita. Suosituksessa käydään läpi suorittavan ja tulkitsevan henkilöstön pätevyysvaatimukset, käytettävän laitteiston minimivaatimukset, dokumentointi toimenpiteen aikana ja datan jäljitettävyyden sekä turvallisuuskohdat. Suosituksessa on myös katsaus farmakologisista ja fysiologisista vaikutuksista.

Suosituksen mukaan leikkausvalvonta tulee olla kokeneen NIOM-spécialistin valvonnassa. Monitoroiva lääkäri on vastuussa NIOM-datan tulkinnasta ja hänen tulee olla joko paikalla leikkaussalissa tai etäyhteyden päässä, jotta kommunikointi leikkaussalihenkilöstön kanssa onnistuu. Monitoroijana voi olla myös asianmukaisesti koulutettu ja kokenut, hyvät tiedot ja taidot omaava bioanalyttikko/laboratoriohoitaja. Hänen tulee olla leikkaussalissa kiinnitysvaiheessa, leikkausvalvonnan aikana sekä leikkauksen jälkeen irrottamassa potilaasta monitorointia varten asetetut elektrodit. Suositus korostaa, että leikkausvalvonta vaatii yhteistyötä kirurgien, anestesia- ja NIOM-tiimien välillä. Farmakologiset, fysiologiset ja mekaaniset tekijät tulee osata ottaa huomioon, jos monitoroitavissa vasteissa tapahtuu muutoksia. (ACNS 2009a.)

Laitteistolle asetettuja vaatimuksia ovat muun muassa riittävä kanavamäärä eri modaliteettien leikkausvalvontain kirurgiatyypistä riippuen. ”Raakadatan”, mutta myös trendien seuraamisen, erilaisten stimulaatiovasteiden ja free-run -signaalien rekisteröimisen tulisi olla mahdollista. Rekisteröintiin tulisi voida kirjata kommentteja, joita olisi mahdollista jälkeenpäin tarkastella. Suosituksessa kuitenkin korostetaan, että jälkianalysointi ei korvaa oikea-aikaista tulkintaa. (ACNS 2009a.)

Dokumentoinnin osalta suosituksessa todetaan, että koko keskiarvoistettu rekisteröintimateriaali tulisi tallentaa. Useimmilla laitteistoilla ei ole mahdollista tallentaa kaikkea dataa, mutta leikkausvalvonnan aikaiset kirurgiset tapahtumat ja menettelytavat tulisi tallentaa. Jos kirurgia tai anestesiologia on leikkausvalvonnan aikana varoitettu, se pitää merkitä muistiin. Samoin käytetyt lääkkeet ja anestesia tai siihen liittyvät muutokset, kuten myös verenpaineen ja lämpötilan vaihtelut tulisi kirjata mahdollisuuksien mukaan itse rekisteröintiin. (ACNS 2009a.)

Turvallisuuskohdista suosituksessa korostettiin erityisesti sähköturvallisuutta leikkaussaliolosuhteissa ja standardien noudattamista. NIOM-laitteistot tulisi suosituksen mukaan tarkastaa ennen jokaista käyttöä, mutta vähintään kahdesti vuodessa. Mikäli laitteistoja kuljetetaan paikasta toiseen, tulisi tarkastuksia olla useammin. Leikkausvalvonnan aikana havaittujen muutosten tulkinta tulisi olla suhteessa farmakologisiin, fysiologisiin ja patofysiologisiin tekijöihin. Verenpaineen, lämpötilan ja anestesian muuttujia tulee monitoroida samanaikaisesti

neurofysiologisten muuttujien kanssa. Lisäksi suosituksessa kuvataan, miten erilaiset anesteetit tai lihasrelaksantit vaikuttavat monitoroitaviin neurofysiologisiin vasteisiin. (ACNS 2009a.)

Suosituksessa käsitellään leikkausvalvontaa myös viitearvojen ja tulkinnan näkökulmasta. Suosituksessa todetaan, että laboratorio-olosuhteissa kerätyt viitearvot eivät päde leikkauksen aikaisten vasteiden tulkinnassa. Ennen leikkausta tehtävät tutkimukset olisivat hyödyllisiä yksilöllisen perustason määrittämiseksi, mutta joskus vaikeasti toteutettavissa. Toisaalta informatiivisimpina suosituksessa pidetään lähtötilanteen (baseline) mittauksia, jotka voidaan suorittaa anestesiainduktion ja potilaan leikkausasentoon asettelun jälkeen, kuitenkin ennen kirurgisen toimenpiteen alkua. Suosituksessa korostetaan, että leikkausvalvontaa tulisi jatkaa koko kirurgisen operaation ajan, kunnes leikkaus on ohi ja haava suljettu. (ACNS 2009a.)

Suosituksessa todetaan, että NIOM:n pohjalta ei ole kiistattomia hälytyskriteerejä, joiden avulla voisi ennustaa leikkauksen jälkeisen neurologisen tilanteen. Herätevasteiden suhteen suosituksessa mainitaan kaksi eri näkökulmaa, joiden avulla vasteiden muutoksia voidaan tulkita. BAEP:n (liite 4) ja SEP:n (liite 5) kohdalla molemmat näkökulma liittyvät amplitudin pienene-miseen ja latenssin pidentymiseen, mutta eri kriteereillä. Suosituksessa todetaan kuitenkin, että kirurginen vaurio aiheuttaa useammin äkillisen muutoksen vasteen amplitudissa tai morfologiassa, kuin latenssin pidentymisen. Transkraniaalisen MEP:n vasteen häviäminen kokonaan tai lähes kokonaan sekä stimulaatiointensiteetin nostamisentarve ovat varoitusmerkkejä. Perifeeristen hermojen monitoroinnissa neurotoonisten sarjojen ilmeneminen on merkinä uhkaavasta hermosäievauriosta. EEG:n kohdalla kriteerit vaihtelevat kirurgian tyypistä riippuen. Muutos voi olla nopean toiminnan häviäminen, paikallista hidasta toimintaa tai EEG:n vaimeneminen. (ACNS 2009a.)

Guideline 11B: Recommended Standards for Intraoperative Monitoring of Somatosensory Evoked Potentials

ACNS:n (2009b) suositus 11B on jaoteltu kolmeen osaan koskien leikkauksen aikaisen SEP:n monitorointia. Yleisten stimulaation ja turvallisuuteen liittyvien seikkojen lisäksi suosituksessa käsitellään selkäytimen neurofysiologista leikkausvalvontaa ylä- ja alaraajojen osalta erikseen. Myös tunto/liikeaivokuoren paikallistaminen on yksi osa tätä suositusta (liite 5). Skolioosi-kirurgiaan liittyvässä instrumentaatiossa selkäytimen vaurioitumisen riski on hyvin pieni (0,5–1,6 %), kun taas rintarangan aorttakirurgiassa alaraajojen halvaantumisen riski iskemiasta johtuen, on lähes 40 %. SEP on hyödyllinen leikkauksen aikainen menetelmä varoittamaan leikkaus-asennosta johtuvasta mahdollisesta perifeerisen hermon tai hartiapunoksen (brachial plexus) iskemian tai puristuksen aiheuttamasta hermovauriosta. Suosituksessa todetaan, että MEP:n monitorointi rinnakkain SEP:n kanssa on motoristen toimintojen valvonnan kannalta hyödyllistä. (ACNS 2009b.)

Guideline 11C: Recommended Standards for Intraoperative Monitoring of Auditory Evoked Potentials

ACNS:n (2009c) suositus 11C koskee BAEP:n leikkauksen aikaista valvontaa. Myös suoraan kuulohermön päältä tapahtuvan johtonopeusmittauksen (auditory nerve action potential eli NAP) yksityiskohtia käydään läpi. Suositus korostaa lähtötilanteen (baseline) mittausten merkitystä. Teknisten artefaktien tunnistaminen tai fysiologisten mekanismien huomioon ottaminen BAEP-vasteiden muutoksia tulkittaessa nostetaan myös esille. Kuulorata voi vaurioitua monella eri tavalla ja monesta eri kohdasta leikkauksen aikana, mikä vaikuttaa myös I–V -vasteiden latensseihin ja amplitudeihin eri tavoin. (ACNS 2009b.)

ACNS:n suosituksissa SEP:n ja BAEP:n osalta on käyty läpi stimulaatioasetukset kuten stimulaatiopuoli, stimulaatioelektrodien asettelu ja suositeltu stimulaatiotaajuus - ja voimakkuus. Rekisteröintiin liittyvistä yksityiskohdista suosituksessa käsitellään kaistasuotimiin, aikaikkunaan ja keskiarvoistamiseen liittyvät seikat. Rekisteröintielektrodien tyyppi ja asettelu sekä suositeltavat rekisteröintikytkennät on myös eritelty. Tulkintaan liittyvät hälytyskriteerit molempien menetelmäkokonaisuuksien osalta on kirjattu suositukseen (liite 4 ja liite 5). (ACNS 2009b; ACNS 2009c.)

Evidence-Based Guideline Update: Intraoperative Spinal Monitoring with Somatosensory and Transcranial Electrical Motor Evoked Potentials

ACNS:n (Nuwer ym. 2012) suosituksen päivityksessä, joka koskee selkärankakirurgian aikaista SEP- ja MEP-monitorointia, käydään läpi tutkimusdataa menetelmien käyttöön liittyen. Päivitys on laaja katsaus tutkimuksista, jotka liittyvät selkärankakirurgisten toimenpiteiden aikana mitattuihin herätevasteisiin. Suosituksen laatimisprosessi ja aineiston analyysi selvitetään. Yksitoista tutkimusta täyttivät tutkimusnäytön vahvuuden I- tai II-tason. Kaikissa arvioituissa tutkimuksissa todettiin, että vasteissa tapahtuneet epäsuotuisat muutokset olivat yhteydessä leikkauksen jälkeisiin oireisiin. Johtopäätöksenä oli, että IOM-menetelmien avulla voidaan ennustaa ylä- ja/tai alaraajojen (osittaisten) halvausoireiden ilmaantumista selkärankakirurgisen toimenpiteen jälkeen. (Nuwer ym. 2012, 102 - 104.)

ACNS Guideline 18: Transcranial Electrical Stimulation Motor Evoked Potential Monitoring (2016)

ACNS:n (2016) suositus on laadittu transkraniaalisen motorisen herätepotentiaalinen monitoroinnista. Suosituksessa käydään läpi määritelmät, kuten D-aalto (Direct wave), I-aalto (Indirect wave) ja myogeeninen MEP. Näitä eri rekisteröintimenetelmiä vertaillaan, pohditaan niiden etuja ja haittoja. (Legatt ym. 2016, 42 - 45.) Suosituksessa ohjeistetaan transkraniaalisen MEP:n standardointiin. Standardointi koskee henkilöstön pätevyysvaatimuksia, stimulointi-asetuksia, -elektrodeja ja -laitteistoa (liite 6). Kirurgisen toimenpiteen laajuus määrittää, mitä rakenteita monitoroidaan ja kuinka laajasti. Suosituksen mukaan MEP-vasteet tulisi rekisteröidä

raajalihaksista molemmin puolin kehoa (liite 6). Rinta- ja lannerangan operaatioissa monitoroidaan alaraajojen distaalisia MEP-vasteita, mutta yläraajalihasten vasteita voidaan hyödyntää kontrollina esimerkiksi fysiologisten tai anestesian aiheuttamien muutosten havaitsemiseksi. Kun kirurginen toimenpide koskee ylemmää kaularankaa sekä aivorunkoa ja aivojen kortikospinaalista radastoa, suositellaan yläraajojen MEP:ien monitoroimista. (Legat ym. 2016, 47 - 48.)

Hälytyskriteerit (liite 6) perustuvat monitoroitavien vasteiden suureisiin, pääasiassa amplitudeihin (Legatt ym. 2016, 45 - 48.) Anestesia-aineiden valinnalla on suuri merkitys leikkausvalvonnan onnistumisessa ja myös lihasrelaksanttien vaikutukset tulee ymmärtää. Suosituksessa korostetaan myös, että SEP:n monitoroiminen rinnakkain MEP:n kanssa on suositeltavaa, koska ne yhdessä kuvaavat paremmin koko selkäytimen toiminnallista kokonaisuutta. Myös turvallisuusnäkökohdat on otettu huomioon, korostaen kommunikaation tärkeyttä muun leikkaussaliin kanssa. (Legatt ym. 2016, 48 - 49.)

3.3 American Society of Neurophysiological Monitoring (ASNM)

The American Society of Neurophysiological Monitoring (ASNM) perustettiin aluksi nimellä The American Society of Evoked Potential Monitoring vuonna 1988. Pari vuotta myöhemmin yhdistys muutti nimensä ASNM:ksi ja piti ensimmäisen kokouksensa. Yhdistys on suurin maailmanlaajuinen organisaatio, joka omistautuu yksinomaan neurofysiologisen leikkausvalvonnan kehittämiseen tutkittuun tietoon perustuen. ASNM:n suositukset ovat muotoutuneet kirjallisuuskatsausten ja asiantuntijoiden kannanottojen ja mielipiteiden pohjalta sekä yhteistyössä ASNM:n laajan jäsenistön kanssa. (Skinner ym. 2014, 103.)

The American Society of Neurophysiological Monitoring (ASNM) ja työryhmä (Skinner ym. 2014) ovat julkaisseet suosituksen koskien muun muassa IOM:n teknistä, tulkinnallista ja diagnostista osa-aluetta. ASNM on julkaissut kannanotot herätevastetutkimuksista MEP:ä (MacDonald ym. 2013), SEP:ä (Toleikis 2010) ja BAEP:a (Martin & Stecker 2008) koskien. Leikkauksen aikaisesta EEG:stä (Isley ym. 2009) ja EMG:stä sekä refleksitutkimuksista (Leppanen 2005) on niin ikään julkaistu ASNM:n kannanotot.

Practice guidelines for the supervising professional: Intraoperative Neurophysiological Monitoring

ASNM:n suositus (2014) on laadittu potilaan hoidon ja potilaskeskeisyyden näkökulmasta. Suositus on jaettu kymmeneen eri kohtaan, joiden avulla tarkastellaan neurofysiologista leikkausvalvontaa (IONM) ohjauksen eri näkökulmista. Tässä ASNM:n suosituksessa määritetään IONM-henkilöstön tehtäväkuvat, vastuut ja velvollisuudet. Suosituksessa kuvataan vähimmäisvaatimukset tyypillisimmissä käytännön tilanteissa ennen leikkausta, leikkauksen aikana kuin myös leikkausten jälkeen tehtävien tutkimusten näkökulmasta. (Skinner ym. 2014, 103 - 111.)

Suosituksessa täsmennetään tapoja ja käytäntöjä, joilla turvataan potilaan etu leikkausvalvontoihin liittyen. Potilaan itsemääräämisoikeutta tulee kunnioittaa ja leikkauksen aikaisiin olosuhteisiin liittyvää tietoisuutta tulee lisätä. (Skinner ym. 2014, 104.) ASNM:n suosituksen mukaan päävastuu IONM:n kokonaisuudesta on lääkärillä. Muun IONM-henkilöstön ohjaaminen ja osaamisen varmistaminen sekä leikkausvalvontalaitteiston toiminnan tarkastaminen on suosituksessa esitetty lääkärin vastuualueiksi. Potilaan informointi ja tutkiminen ennen leikkausta sekä IONM-protokollan laatiminen ovat myös lääkärin vastuulla. Lääkärin tulisi voida tulkita signaalia ja kommunikoida muun leikkaussalihenkilöstön kanssa reaaliajassa. Suosituksessa todetaan, että IONM vaatii jatkuvaa huomiota. Täten vastuussa olevan lääkärin ei tulisi lupautua samanaikaisesti muuhun kliiniseen työhön, vaikka hän olisikin esimerkiksi etäyhteyden päässä. Suosituksen mukaan monimutkaisimmissa tapauksissa lääkärin tulisi olla fyysisestikin leikkaussalissa. (Skinner ym. 2014, 105 - 107.)

Suositus korostaa kollegiaalisuuden ja vuorovaikutusosaamisen vahvistamisen tärkeyttä, sillä IONM-henkilöstö toimii yhteistyössä niin kirurgin, anestesiologin kuin myös muun leikkaussalitiimin kanssa. Terveysthuollon ammattilaisten, kuten leikkauksen aikana monitoroivan henkilöstön, tulee voida tarjota teknistä osaamista muun muassa laadukkailla rekisteröinneillä ja nopealla ongelmanratkaisukyvyllä. Yhdysvalloissa käytäntönä on, että IONM-lääkärin vastuu jatkuu potilaan leikkauksen jälkeisenä seurantana, leikkausvalvonnan dokumentointina ja raportointina. (Skinner ym. 2014, 106 - 108.)

Myös täydennyskoulutuksen ja laadunvarmistuksen tärkeys on huomioitu suosituksessa. IONM-osaamista tulee kehittää, parantaa ja päivittää. Suosituksessa kehoitetaan analysoimaan laadunvarmistusmenetelmin monitoroivan henkilöstön suoritusta, IONM-menettelytapojen soveltuvuutta sekä instrumentoinnin toimivuutta tapauskohtaisesti. Näin voidaan parantaa potilasturvallisuutta ja leikkausvalvonnan laatua. Neurofysiologista asiantuntijaosaamista voidaan hyödyntää myös tilanteissa, joissa kirurgi tai anestesiologi itse toimii monitoroijana. Tällöin tulisi koulutuksella taata kliinisen neurofysiologian osaaminen riittävällä tasolla, jotta nämä muiden alojen specialistit voisivat suoriutua itsenäisesti monitoroinnista. (Skinner ym. 2014, 108 - 111.)

Position Statements – kannanotot

ASNM:llä on suositusten lisäksi joukko kannanottoja, jotka se on julkaissut neurofysiologiisiin leikkausvalvontoihin liittyen. ASNM määrittelee suositusten ja kannanottojen täsmäntävän neurofysiologista leikkausvalvontaa teknisestä ja ammatillisesta näkökulmasta. ASNM tiedostaa, että kehittyvä teknologia, kokemuksen kertyminen ja uuden oppiminen sekä menetelmien kehittyminen vaativat suositusten ja kannanottojen säännöllistä päivittämistä ja julkaisemista. Terminologiasta riippumatta ASNM rinnastaa suositukset ja kannanotot ja toteaa, että molemmat on laadittu näyttöön perustuvaa tietoa hyödyntäen. Nämä kliinistä käytäntöä koskevat ohjeet

ovat keskenään yhdenmukaisia keskeisten komponenttien osalta. (ASNM 2017-07-04.) ASNM:n kannanotot koskevat leikkauksen aikaista BAEP:a, EEG:tä, EMG:tä, MEP:ä ja SEP:ä.

Henkilöstön pätevyysvaatimukset ja dokumentointi on huomioitu ASNM:n kannanotoista MEP:n (MacDonald ym. 2013), SEP:n (Toleikis 2010), EEG:n (Isley ym. 2009) ja EMG:n (Leppanen 2005) osalta. Kannanotoissa todetaan, että leikkausvalvontoja suorittavan henkilöstön pätevyystasot vaihtelevat. Monet yhdistykset ovat laatineet suosituksia leikkausvalvontoja suorittavan henkilöstön osaamisen määrittämiseksi. Asiantuntijatason ja teknisen tason pätevyudet tulisi olisi eritelty ja molemmista voisi suorittaa sertifikaatin tarkkaan määritettyjen kriteerien mukaisesti. Lisäksi kannanotoissa pidetään tärkeänä jatkuvaa osaamisen ja ammattitaidon ylläpitoa sekä moniammatillista yhteistyötä. (MacDonald ym. 2013, 2312; Toleikis 2010, 37 - 38; Isley ym. 2009, 373 - 375; Leppanen 2005, 455.)

Dokumentaatiosta kannanotoissa todetaan, että lausuntoon olisi suotavaa sisällyttää kirurgisen toimenpiteen aikaiset ja leikkausvalvonnan kriittisiin vaiheisiin liittyvät yksityiskohdat anestesiasta ja fysiologisista muuttujista aina laitteistoon ja hälytyskriteereihin. (MacDonald ym. 2013, 2312; Toleikis 2010, 35 - 37; Isley ym. 2009, 373; Leppanen 2005, 455). Lisäksi jokaisen kannanoton loppuun on koottu leikkauksen aikaista BAEP:a, AN-CAP:a ja EcochG:a (Martin & Stecker 2008, 82 - 83), EEG:tä ja qEEG:tä (Isley ym. 2009, 386 - 387), EMG:tä ja refleksimittauksia (Leppanen 2005, 455 - 456), MEP:n ja D-aallon (MacDonald ym. 2312 - 2013) sekä SEP:n (Toleikis 2010, 45 - 47) käyttöä koskevat ja näyttöön perustuvat tutkimustulokset, tutkimusnäytön luokittelu ja aste.

Intraoperative monitoring of auditory evoked potentials

ASNM:n (2008) kannanotto leikkauksen aikaisen kuuloheräevasteen (ABR) monitoroinnista selvittää kolmea kuuloradastoa mittaavaa menetelmää: aivorungon kuuloheräevastetta (auditory brainstem response, ABR), elektrokokleogrammia (electrocochleogram, EcochG) ja kuulohermon vasteen rekisteröintiä (auditory nerve compound action potential, AN-CAP). Kannanotossa kuvaillaan kuuloradaston anatomiaa sekä vasteiden syntytapaa ja ominaisuuksia. Menetelmäkohtaiset stimulaatioasetukset, elektrodityypit ja -asettelu sekä vahvistus- ja suodinasetukset kuin myös keskiarvoistaminen on käyty kannanotossa yksityiskohtaisesti läpi (liite 4). (Martin & Stecker 2008, 75 - 79.)

Mitattavat muuttujat ja tulkinta käsitellään kannanotossa kaikkien kolmen leikkausvalvontamenetelmän näkökulmasta. Hälytysrajoihin kannanotossa kiinnitetään myös huomiota, lähinnä ABR:n ja AN-CAP:n kannalta (liite 4). Erityisesti kannanotossa suositellaan huomioimaan anestesian ja lämpötilan vaikutuksesta, poraamisen aikana tapahtuvista komplikaatioista sekä pikkuaivoihin kajoamisesta johtuviin muutoksiin. (Martin & Stecker 2008, 79 - 81.)

ABR:n leikkauksen aikaisen valvonnan kolme päätavoitetta ovat kuulon säilyttäminen, kuulon palauttaminen ja aivorungon toiminnan turvaaminen. Kannanotossa kehoitetaan myös pohtimaan, milloin ABR-monitoroinnista on hyötyä. Kirurginen lähestymistapa kasvaimen sijainnista, koosta ja patologiasta riippuen voi vaikuttaa siihen, onko kuulohermön ja kuulon säästäminen ylipäättään mahdollista. Kannanoton mukaan tulisi myös miettiä, käytetäänkö toimenpiteen aikana yhtä kuuloradan toimintaa mittaavaa menetelmää vai jopa kaikkia kolmea. Kuulohermön distaaliosasta mitattava EcochG-vaste voidaan helposti rekisteröidä ja käyttää vertailukohtana tilanteissa, joissa ABR:n ensimmäinen (I) vaste ei ole luotettavasti mitattavissa. AN-CAP on nopeimmin rekisteröitävissä ja se on herkkä kuulohermön toiminnassa tapahtuville muutoksille. Myös SEP:n leikkausvalvonta voi olla hyödyllinen aivorungon toiminnan turvaamiseksi yhdessä ABR:n kanssa tai sen asemesta. Kannanotossa todetaan myös, että leikkausvalvonnalla ei voida korvata huonoa kirurgista teknistä osaamista eikä voida estää kirurgiasta johtuvia virheitä. (Martin & Stecker 2008, 81 - 82.)

Guidelines for intraoperative neuromonitoring using raw (analog or digital waveforms) and quantitative electroencephalography

ASNM:n (2009) kannanottoon on koottu yleisimmät menettelytavat koskien leikkauksen aikaisen EEG:n käyttöä ja tulkintaa. Kannanotto jakaa EEG:n analogiseen ja digitaaliseen (raw, rEEG) sekä kvantitatiivisen prosessoituun EEG (qEEG):hen ja niiden käyttöä käsitellään osittain rinnakkain ja osittain erikseen. Kannanotossa käydään läpi EEG:n instrumentaatio ja rekisteröintiasetukset sekä sähkö- ja potilasturvallisuus leikkaussaliolosuhteissa (Isley ym. 2009, 370 - 373).

Kirurgisten toimenpiteiden, kuten kaulavaltimoahtaus-, sydän- ja aivosuonikirurgian, aikainen EEG:n monitorointi, on kannanoton mukaan suositeltavaa (Isley ym. 2009, 375 - 382). Kaulavaltimokirurgian yhteydessä on suositus elektrodien määrästä ja asettelusta. Multimodaalisesta monitoroinnista, jossa tarkkaillaan EEG:n tai qEEG:n lisäksi SEP:ä, voi olla hyötyä embolian tai iskemian havaitsemisessa. (Isley ym. 2009, 375 - 377.) Kannanoton mukaan EEG:n lähtötilanne (baseline) tulisi määrittää ja rekisteröinnin tulisi ajallisesti kattaa koko kirurginen toimenpide. EEG:n näyttöasetukset tulisi optimoida sellaisiksi, että iskemiamuutokset ovat visuaalisesti selkeimmin havaittavissa. Anestesiatyypin valinta, anestesiatazon ja verenpaineen muutokset vaikuttavat EEG:hen ja näin myös iskeemisten muutosten havaitsemiseen niin kaulavaltimo- kuin sydänkirurgiassakin. (Isley ym. 2009, 378 - 379; 381.)

Kannanotossa on kuvattu sydänkirurgian (lähinnä ohitusleikkausten) aikaisia EEG-muutoksia ja anesteettien vaikutusta aivojen sähköisen toimintaan. Kannanotossa todetaan, että EEG:llä voidaan säätää anestesian syvyyttä ja havaita mahdollinen leikkauksen aikainen purkauksellinen toiminta. Patologiset muutokset, kuten iskemia ja hypoksia voivat kuitenkin olla vaikeasti erotettavissa esimerkiksi hypotermian tai syvemmän anestesian aiheuttamista EEG-muutoksista. (Isley ym. 2009, 381.) Aivosuonikirurgiassa EEG tärkein tehtävä on kannanoton mukaan

uhkaavan aivoinfarktin havaitseminen intrakraniaalisen aneurysman leikkauksen tai sulun aikana. Lisäksi suositellaan myös ylä- ja alaraaja-SEP:en leikkausvalvontaa. Barbituraattikoomaa voidaan käyttää suojaamaan aivoja aneurysmakirurgian aikana, jolloin taas EEG:llä voidaan seurata purskevaimentuman (burst suppression) tasoa. (Isley ym. 2009, 382.)

Kannanotossa on myös esitetty hälytyskriteerit iskemian havaitsemiseksi EEG:llä kaulavaltimo-ahtauma-, sydän- ja aivosuonikirurgian aikana (Isley ym. 2009, 378 - 379; 383 - 384). Kannanotossa käsitellään kvantitatiivista EEG:tä anestesia- ja syvyyden mittarina ja esitellään erilaisia laskennallisuuteen perustuvia EEG-sovelluksia, kuten Bispectral index (BIS®):ä ja spektraali-entropiaan perustuvia menetelmiä (Isley ym. 2009, 386).

Intraoperative monitoring of segmental spinal nerve root function with free-run and electrically-triggered electromyography and spinal cord function with reflexes and F-responses.

Tässä ASNM:n (2005) kannanotossa esitellään yksitoista (11) eri leikkausvalvontatekniikkaa, jotka on kehitetty hermojuurten ja selkäytimen motoristen toimintojen monitorointiin. Nämä kuvatut menetelmät ovat hermolihaskiinnityksen toiminnan mittaus, "free-run"- eli spontaani-EMG -rekisteröinti, pedikkeli- ja iliosakraaliruuvistimulaatio, impedanssitestaus pedikkeliruuvien asennuksen aikana, motoristen hermojuurten stimulointi, H-refleksin ja F-vasteen rekisteröinti, sakraalirefleksin sekä alaraajojen ipsi- ja kontralateraalisten refleksien rekisteröinti. Myös hermojuuren katkaisutoimenpiteen aikana voidaan rekisteröidä mono- ja polysynaptisia refleksejä. (Leppanen 2005, 437.)

Kannanotossa kuvataan anestesiaan liittyviä teknisiä seikkoja, johon tulisi kiinnittää huomiota, kun monitoroidaan liikeradan toimintaa. Tekniikka tulee valita niin, että se ei estä selkäytimen interneuronien eikä alfa-motoneuronien toimintaa. Myös hermolihaskiinnityksen transmission pitää toimia, jotta EMG:tä voidaan rekisteröidä. Samaa anestesiatekniikkaa voidaan käyttää, kun rekisteröidään spontaani-EMG:tä ja cMAP:ja, stimuloidaan selkäydintä ja hermojuuria tai rekisteröidään mono- ja polysynaptisia refleksejä tai F-vasteita. (Leppanen 2005, 439.)

Motoristen hermojuurten leikkausvalvontaa koskevassa osiossa kannanotossa käydään läpi vaihtoehtoisia monitoroitavia lihaksia, jotka saavat hermotuksensa kaula-, rinta- ja lannerangan tai ristisegmenttien alueelta (Leppanen 2005, 442). Kannanotossa on kuvattu myös eri hermojuurten mahdolliset anomaliat (Leppanen 2005, 443). Kannanotossa kerrataan proksimaalisten spinaalisten hermojuurten patofysiologiaa ja spontaani-EMG:n rekisteröintiä leikkausvalvontamenetelmänä. Tekniikkaa käydään läpi elektrodivalinnan ja rekisteröintiasetusten osalta. Rekisteröitävät lihakset määrittyvät riskissä olevien juuritasojen mukaan. EMG:tä voidaan rekisteröidä koko toimenpiteen ajan ja baseline-mittaukset kertovat mahdollisesta jo olemassa olevasta hermojuuren toimintahäiriöstä. Kannanotossa huomiota on kiinnitetty myös erilaisiin virhelähteisiin, joita leikkaussali-instrumentit aiheuttavat. Spontaani-EMG:tä on käytetty

pedikkeliruuvien asennuksessa, spinaalisten dekompressioleikkauksissa ja skolioosikirurgian aikana. Myös hermojuuren läheisyydessä olevan kasvaimen poiston yhteydessä on EMG:tä rekisteröity. Kannanotossa mainitaan myös trapezius-lihaksen EMG-rekisteröinti accessorius-hermon toiminnan turvaamiseksi. (Leppanen 2005, 443 - 444.)

Kannanotossa on kuvattu pedikkeliruuvistimulaation rekisteröinti- ja stimulaatiotekniikka, kuten myös hälytysrajat. Alle 6mA:n kynnsarvon ajatellaan viittaavan siihen, että ruuvi on suorassa yhteydessä hermojuureen. (Leppanen 2005, 446.) Huomioon pitää osata ottaa myös väärät negatiiviset löydökset, jotka voivat aiheutua muun muassa huuhtelun yhteydessä nesteeseen kosketuksissa olevista ruuveista. Tämä nostaa virheellisesti stimulaatiokynnystä. (Leppanen 2005, 445.) Hermorakenteet ovat lähellä pedikkeleitä ja väärä instrumentointi voi johtaa leikkauksen jälkeiseen neurologiseen vaurioon tai hermovauriokipuun. Kun pedikkeliruuvien paikka voidaan heti tarkistaa stimuloimalla, säästetään kustannuksia ja vähennetään sairastavuutta ja uusintaleikkauksia. (Leppanen 2005, 444.) Pedikkeliruuvien asennuksessa on tutkimusten mukaan suositeltavaa käyttää sähköisesti stimuloiden esille saadun EMG:n lisäksi mekaanisesti esille saatua EMG-vastetta ennemmin kuin impedanssitestauksia (Leppanen 2005, 446).

Hermojuuren stimulaatiota voidaan käyttää selkäydinkanavan alaosaan sijaitsevien liikehermosäikeiden tunnistamiseksi esimerkiksi kasvain- tai arpikudoksen joukosta. Motoristen ja sensoristen hermojuurten tunnistaminen ja erottelu on stimulaation avulla mahdollista. Voidaan myös määrittää, millä nikamatasolla tai minkä jaokkeen alueella motorinen hermojuuri on. Hermojuurten stimulaatiossa käytettävä tekniikka on kuvattu. (Leppanen 2005, 446.) Liikehermojen tunnistusta on käytetty muun muassa liekaantuneen selkäytimen vapautusleikkauksissa, sakraalisten lipoomien poiston yhteydessä sekä teratoomien, astrozytomaalien ja fibroomien poiston yhteydessä. Kannanotossa kuvataan myös iliosakraaliruuvien asennuksessa käytettävää stimulaatiomenetelmää. Menetelmä on käytössä SI-nivelen dislokaation korjauksessa ja toteutetaan poranterään tai ruuviin kiinnitettävällä elektrodilla. Matala stimulaatiokynnys kertoo lähestyvistä hermorakenteista ja ohjaa näin asennusta. (Leppanen 2005, 447.)

Kannanotossa käsitellään myös mono- ja polysynaptisten refleksien ja F-vasteen elektrofysiologiaa. Gastrocnemius- ja flexor carpi radialis -lihaksista rekisteröidyn monosynaptisen H-refleksin syntyperiaate ja rekisteröintitekniikka kuvataan seikkaperäisesti. Refleksimittauksia voidaan leikkauksen aikana käyttää perifeerisen hermon, hermojuurten (S1 ja C6/C7) ja selkäytimen toiminnan leikkausvalvonnassa. F-vasteen neurofysiologista perustaa käydään myös kannanotossa läpi. F-vaste kuvaa alemman motoneuronin toimintaa ja sen avulla voidaan selvittää keskushermoston motorisen järjestelmän tilaa. Kannanotossa selvitetään H-refleksin, F-vasteen ja A-aaltojen esiintyvyyttä, amplitudiin ja latenssiin liittyviä eroavaisuuksia sekä tulkintaa. Leikkauksen aikana F-vasteen rekisteröintiä voidaan käyttää liikehermojen toiminnan turvaamiseksi ja hermojuuresta proksimaalisesti sijaitsevien kasvainten poiston yhteydessä. (Leppanen 2005, 447 - 450).

Ipsi- ja kontralateraaliset alaraajarefleksit ovat poikkeavia polysynaptisia refleksejä, jotka kertovat aikaisemmasta neurologisesta vauriosta. Esimerkiksi kroonisen hermovaurion yhteydessä ja idiopaattista skolioosia sairastavilla on todettu näitä poikkeavia refleksejä. Neurologisesti terveillä potilailla näitä refleksejä ei siis esiinny. Mikäli leikkauksen aikaisissa rekisteröinneissä havaitaan kyseisiä alaraajarefleksejä tai refleksikuviossa todetaan muutos, voi se olla merkinä selkäytimen akuutista vaurioitumisesta. (Leppanen 2005, 452.) EMG:tä rekisteröidään lihaksista sen mukaan, halutaanko monitoroida selkäytimen, hermojuuren vai selkärangan alaosan hermojen toimintaa (Leppanen 2005, 453).

Kannanotossa esitellään vielä yhtenä tekniikkana hermojuuren vapautusleikkauksessa (selektiivinen dorsaalinen ritsotomia) käytettävät mono- ja polysynaptiset refleksimittaukset. Tekniikan avulla pyritään määrittämään, mitkä sensoriset hermohaarat ovat osallisena selkäytimen venytysheijasteen yliärtyvyyteen ja valitaan spastisuutta aiheuttavat hermohaarat katkaisua varten. Refleksiaktiivisuutta voidaan mitata EMG:llä sekä ylä- että ala-raajoista, kasvoista ja kaulan alueelta. Kannanotossa on kuvattu elektrodivalinta ja -asettelu, suositeltavat rekisteröitävät lihakset sekä rekisteröintiparametrit. Sensorisen ja motorisen hermojuuren tunnistaminen stimulaation intensiteettierolla sekä yliärtyvien sensoristen hermohaarojen tunnistaminen EMG-muutoksiin perustuen on myös selostettu. (Leppanen 2005, 453 - 454.)

Intraoperative motor evoked potential monitoring

ASNM:n (2013) kannanotto leikkauksen aikaisen motorisen herätepotentialin (MEP) monitoroinnista on varsin kattava. Kannanotossa kuvataan muun muassa liikeaivokuoren, kortikospinaalisen ja kortikobulbaarisen radaston sekä ylemmän ja alemman motoneuronin toimintaa anatomisten rakenteiden kannalta hermolihasliitoksen ja lihaksen toiminta mukaan lukien. Lisäksi on selvitetty aivojen ja selkärangan verenkiertojärjestelmän anatomiaa ja iskeemisten muutosten ilmenemistä anatomisesta sijainnista riippuen. (MacDonald ym. 2013, 2294 - 2296.) Fysiologisia toimintoja tarkastellaan kuvaamalla selkäytimen ja aivojen stimulaation vaikutusta hermotusjärjestelmään. Myös D-aallon ja I-aallon syntytapoja ja niiden rekisteröinnin merkitystä selvitetään. Kannanotossa kuvataan myös lihasvasteen syntymekanismeja ja ominaisuuksia. (MacDonald ym. 2013, 2296 - 2299.)

Menetelmien näkökulmasta kannanotossa käsitellään elektrodivalintaa ja -asettelua. Transkraniaalisen sähköisen stimulaation kytkentävaihtoehtoja tulisi kannanoton mukaan harkita toimenpidekohtaisesti. Kytkentä tulisi valita sen mukaan, halutaanko stimuloida esimerkiksi kasvojen ja yläraajojen radastoa toispuolisesti vai halutaanko monitoroida alaraajojen vasteita symmetrisesti. Intrakraniaalisen stimulaation käytöstä kartoituksessa on myös otettu kantaa. (MacDonald ym. 2013, 2299 - 2301.) Transkraniaaliseen sekä intrakraniaaliseen stimulaatioon liittyvät muuttujat, kuten pulssin keston ja määrään liittyvät seikat käsitellään myös. Lisäksi esitellään fasilitaatiotekniikoita. Kannanotossa kuvataan sekä D-aallon että MEP:n rekisteröintiin

liittyviä yksityiskohtia, kuten elektrodityypit ja rekisteröintiasetukset (liite 6). (MacDonald ym. 2013, 2301 - 2304.)

Kannanotossa käydään läpi anestesian, lihasrelaksanttien ja systeemisten tekijöiden, kuten verenpaineen ja lämpötilan vaikutus MEP-vasteiden muodostumiseen ja säilymiseen kirurgisen toimenpiteen aikana. Aivojen ja selkäytimen itsesäätelyn tulisi anestesiankin aikana pitää valtimoiden keskipaine (mean arterial pressure, MAP) tasaisena. Potilaiden korkea ikä ja heikentynyt terveydentila tulee huomioida, sillä ne vaikuttavat heikentävästi itsesääteelyyn ja aiheuttavat korkeaa verenpainetta. Myös patofysiologiset seikat, kuten akuutti selkäytimen kompressio saattaa aiheuttaa hetkellisen verenpaineen nousun, mutta toisaalta sekundaarisesti myös iskemiaa ja verenpaineen laskua. (MacDonald ym. 2013, 2304 - 2306.)

Turvallisuuskäsitteinä kannanotossa nostetaan esiin voimakkaan ja pitkäkestoisen stimulaation mahdollisesti aiheuttamat vauriot hermosoluissa, mikä saa aikaan välttämättömyyden liiallisen vapautumisen, joka taas voi johtaa solutuhon. Myös elektrokemiallinen vaurio voi syntyä elektrodin ja kudoksen rajapintaan ja on myös liitoksissa pulssin keston ja tyyppiin. Molemmat edellä mainitut vauriotyypit liitetään paremminkin suoraan kortikaaliseen stimulaatioon (direct cerebral stimulation, DCS) kuin transkraniaaliseen sähköiseen stimulaatioon (transcranial electrical stimulation, TES). Kannanotossa kuvataan palovammojen mahdollisuus, kun käytetään korkeaenergistä lyhyttä pulssia lähes maksimaalisella intensiteetillä. Suun alueen vammat, kuten kielen tai huulen vauriot ovat yleisimpiä TES:n aiheuttamina komplikaatioita ja johtuvat leukalihasten voimakkaasta supistumisesta stimulaation seurauksena. Pehmeä purusuoja ei välttämättä yksin riitä estämään vaurioiden syntymistä, jolloin voi lisäksi käyttää esimerkiksi vanurullia poskihampaiden välissä. Kova purusuoja voi lisätä hampaiden ja leuan vaurioita. Myös epileptistä purkaustoimintaa on raportoitu varsinkin DCS:ään liittyen. Invasiivisten spinaali-elektrodien asettamiseen liittyy pieni, mutta vakavasti otettava riski verenvuodon, infektion tai trauman syntymiseen. Stimulaatiokytkennän valinnalla sekä stimulaation ajoituksella voidaan taas vaikuttaa liikkeen aiheuttaman vaurion syntyyn. (MacDonald ym. 2013, 2306 - 2307.)

Harvinaisten sydämen rytmihäiriöiden syntymiselle on kuvattu kaksi teoreettista mekanismia: autonomisen hermoston toiminnan häiriintyminen TES:in vaikutuksesta ja stimulaation johtuminen rekisteröivien SEP-elektrodien ja vahvistimen kautta sydämen läpi, matkalla takaisin tuntoaivokuorelle. Kannanoton mukaan olisi tärkeää huolehtia, että raajojen ja pään SEP-elektrodit kytketään omiin vahvistimiin. Kannanotossa mainitaan vielä relatiivisina kontraindikaatioina epilepsia, kortikaalinen aivovaurio, kallopuutos, kallonsisäisen klipsi, shuntti tai elektrodi sekä sydämentahdistin tai vastaava implantoitu bioelektrinen laite. (MacDonald ym. 2013, 2307 - 2308.)

Kannanotossa todetaan, että indikaationa leikkauksen aikaisen MEP:n monitoroinnille on mikä tahansa kirurginen toimenpide, joka vaarantaa motorisen järjestelmän. Neurokirurgisista

toimenpiteistä mainitaan muun muassa motorisen aivokuoren tai kortikospinaalisen radaston lähellä sijaitsevan kasvaimen tai epileptisen pesäkkeen poisto, intrakraniaalisen aneurysman sulkku, takakuoppakirurgia sekä selkärankakirurgia. Ortopedisissa toimenpiteissä, kuten selkärangan epämuodostumien tai murtumien korjauksessa, selkänikaman kasvaimen poistossa ja etukautta tehtävässä kaularankakirurgiassa MEP:n monitoroinnista on osoitettu olevan hyötyä. Myös verisuonikirurgisissa operaatioissa, kuten selkäytimen tai kaulan alueen verisuonikirurgiassa voidaan MEP:ä hyödyntää. D-aalto -vasteen säilyminen IOM:n aikana ennustaa hyvää motorista toimintakykyä intramedullaaristen spinaalikasvainten kirurgian sekä peri-Rolandisen kirurgian jälkeen. Skolioosikirurgiassa D-aalto -rekisteröinnistä ei ole raportoitu olevan hyötyä. (MacDonald ym. 2013, 2308.)

MEP:n tulkinnalliset seikat, rajoitukset ja kriteerit on kannanotossa kuvattu yksityiskohtaisesti. Tulkintaa hankaloittavina tekijöinä mainitaan muun muassa muutos anestesiassa sekä odottamattomasta verenpaineen laskusta tai elektrodin siirtymisestä aiheutunut vasteessa näkyvä muutos. Myös leikkausasennosta johtuvat paikalliset perifeerisen hermon johtumishäiriöt saattavat aiheuttaa virheellisiä tulkintoja. Tulkintaan liittyviä seikkoja käydään läpi D-aallon ja MEP:ien näkökulmasta. (MacDonald ym. 2013, 2309.)

MEP:ien tulkinnan tulisi olla asiantuntijatasoista, jolloin virhelähteet osataan ottaa huomioon ja väärin negatiivisten sekä positiivisten löydösten määrä jää minimiin. MEP:ien hälytyskriteereinä tulisi kannanoton mukaan huomioida vasteessa tapahtuvat erilaiset muutokset (liite 6). Vasteen säilyminen on yleensä merkki hyvästä leikkauksen jälkeisestä tilanteesta, mutta toisaalta on myös raportteja muun muassa lievistä kasvohermovauriosta ja hermojuurivauriosta huolimatta siitä, että MEP-vaste on säilynyt muuttumattomana. Vasteen näkyminen ylipäättään on merkki liikeradan ja lihaksen välisen toiminnallisen yhteyden olemassaolosta. Halvaus on tällaisessa tilanteessa epätavallista, mutta lihasten osittainen toimintakyvyn menetys esimerkiksi aivojen, aivorungon tai perifeerisen hermon osittaisesta vauriosta johtuen on silti mahdollista. Vasteen häviäminen kokonaan, etenkin selkärankakirurgian aikana, on selvä hälytyskriteeri ja merkki leikkauksen jälkeisestä heikkousoireesta, vaikkakaan ei välttämättä vaikeasta tai pysyvästä halvauksesta. Vasteen amplitudin selkeä pieneneminen ja äkillinen stimulaatiovoimakkuuden nostotarve ovat merkkejä, joihin pitää reagoida kirurgia varoittamalla. MEP-vasteiden muoto vaihtelee potilaasta ja lihaksesta riippuen, mutta mikäli vasteen muoto muuttuu pelkistetyymmäksi, tulee myös sitä tarkkaan seurata. Kannanottoon on koottu kriteerejä, joita voi käyttää apuna eri leikkausvalvontatilanteissa. Tällaisia ovat ortopedinen selkärankakirurgia, aorttakirurgia, supratentoriaali- ja aivorunkokirurgia, kasvohermon sekä hermojuurten leikkausvalvonta. (MacDonald ym. 2013, 2309 - 2312.)

Henkilöstön koulutus, harjoittelu, kokemus ja pätevyys tulee olla riittävällä tasolla, jotta selviytyy MEP-monitoroinnista. Kannanotossa todetaan, että asiantuntijatasoisen henkilöstön, kuten kliinisen neurofysiologin, tulee olla vastuussa leikkausvalvonnasta ja tulkinnasta. Teknisen tason

henkilöstö voi huolehtia leikkausvalvonnan käytännön toteutuksesta. Kannanotto kehottaa lisäkouluttautumiseen ja suosittelee kehittämään MEP:n vakiintuneita leikkausvalvontakäytäntöjä sekä toimintaohjeita. (MacDonald ym. 2013, 2312.)

Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials

ASNM:n (2010) kannanotossa käydään seikkaperäisesti läpi SEP:n leikkauksen aikainen käyttö sekä anatominen radasto (Toleikis 2010, 6 - 8). SEP-monitoroinnin yksityiskohdat stimulaatio-elektrodeista rekisteröintitekniikkaan (liite 5) kuvataan kattavasti (Toleikis 2010, 8 - 26). Anestesia-aineiden vaikutukset SEP-vasteisiin eri anestesiavalinnoilla ja lihasrelaksaation mahdollisuus on myös käsitelty (Toleikis 2010, 26 - 33). Lämpötilassa ja verenpaineessa tapahtuvien muutosten vaikutus SEP-vasteisiin on otettu huomioon (Toleikis 2010, 33 - 35). Hälytyskriteerit (liite 5) on myös kirjattu (Toleikis 2010, 37).

Leikkausvalvontamenetelmistä kannanotossa käydään läpi hermojuuren toiminnan leikkausvalvonta dermatomi-SEP:in avulla sekä perifeerisen hermon ja hermopunoksen (pleksus) vasteiden mittaaminen teknisenä varmistuksena. Selkäytimen leikkauksen aikaisesta monitoroinnista kannanotossa käsitellään sekä kervikaalisen (kaularangan) että torakolumbaalisen (rinta- ja lannerangan) leikkausvalvonnan hyödyt. Myös aivorungon ja talamuksen toimintaa voidaan monitoroida SEP:llä, mutta aivohermojen leikkausvalvontaan se ei ole käyttökelpoinen menetelmä. Viimeisenä kannanotossa esitetään SEP:n käyttöä aivojen toiminnan monitoroinnissa. Elektrokortikografia kuvataan myös tässä kannanotossa menetelmänä tunto- ja liikeaivokuoren määrittämiseksi. Kaulavaltimo- ja aivoaneurysmakirurgiassa SEP:n lisäksi rekisteröidään usein myös EEG:tä. Aneurysmakirurgiaa käsitellään tarkemmin ylä- ja alaraaja-SEP:en käytön kannalta. Kaikkien näiden edellä kuvattujen menetelmien jälkeen on esimerkkejä kirurgisista toimenpiteistä, joissa kyseisestä menetelmästä voisi olla hyötyä. (Toleikis 2010, 38 - 45.)

3.4 Association of Neurophysiological Scientists (ANS)/British Society for Clinical Neurophysiology (BSCN)

Vuonna 1949 perustettu Electrophysiological Technologists' Association (EPTA), nykyisin nimellä The Association of Neurophysiological Scientists (ANS) tunnettu yhdistys, on Iso-Britanniassa toimiva kliinisen neurofysiologian erikoisalayhdistys. Yhdistyksen yhtenä tavoitteena on kehittää ja ylläpitää käytäntöjä potilasturvallisuuden edistämiseksi. ANS on The International Organisation of Societies for Electrophysiological Technology (OSET):n jäsen. (ANS 2017.) The British Society for Clinical Neurophysiology (BSCN) perustettiin alun perin jo vuonna 1942 nimellä The EEG Society. Vuonna 1989 yhdistykselle äänestettiin nykyinen nimi ja yhdistys on liittynyt IFCN:ään. BSCN:n julkaisemia suosituksia kehitetään järjestelmällisesti näyttöön pohjautuvan tiedon perusteella ja suositukset ovat enemmän neuvoa-antavia kuin ehdottomia. (BSCN 2017.)

Iso-Britannian yhdistysten, ANS:n ja BSCN:n yhteinen ohjeistus käsittelee selkärankakirurgian aikaisten MEP:en ja SEP:en käyttöä standardien eli vähimmäisvaatimusten, suositusten eli tapauskohtaisesti pohdittavien ehdotusten sekä käytännön sovellusten ja ohjeistusten kautta.

Guidelines for Neurophysiological Recordings of the Spinal Cord during Corrective Spinal Deformity Surgery

ANS/BSCN:n (2012) suositus on laadittu skolioosikirurgian neurofysiologisen leikkausvalvonnan näkökulmasta. Sitä ovat olleet mukana kehittämässä johtavat IOM-keskukset Britanniassa ja suositus pohjautuu näyttöön perustuvaan tietoon. Suosituksen tarkoituksena on tukea käytännön työtä ja se tarkastetaan säännöllisesti. (Walsh, Cowan, Foster, Grocott ym. 2012, 2.)

Suosituksen alussa todetaan, että aina korjaavan selkärankakirurgian aikana, kun selkäydin on vaarassa, tulisi IOM:n olla osa toimenpidettä. Leikkausvalvontaa voidaan käyttää kirurgisen tiimin tukena estämään operaatiosta mahdollisesti aiheutuvan vaurion syntyminen. IOM:ää tulisi suosituksen mukaan hyödyntää selkärankakirurgiassa esimerkiksi 'growing rods' -tekniikkaa käytettäessä, erilaisten instrumentaatioiden ja luudutuksen yhteydessä sekä tapauskohtaisesti uusintaleikkauksissa. (Walsh ym. 2012, 2.)

Suosituksessa käydään läpi leikkausvalvonnan yleisperiaatteet, SEP- ja MEP-menetelmät sekä mainintana muut IOM-tekniikat, kuten D-aalto -rekisteröinti, "free-run"-EMG ja pedikkeli-ruuvistimulaatio, joita voidaan myös hyödyntää selkärankakirurgiassa. Kolme ensin mainittua kohtaa on jaettu standardeihin, ohjeistuksiin ja käytännön sovelluksiin. (Walsh ym. 2012, 5 - 7.)

Yleisissä periaatteissa käydään läpi potilaan tunnistuksen tärkeys, lähtötilanteen mittausten suorittaminen ja niiden toistettavuuden varmistaminen sekä hälytysrajojen määrittäminen. Suosituksessa kiinnitetään huomio myös "kellotukseen" eli kaikkien olisi hyvä seurata samaa kelloa. Suosituksen mukaan rekisteröinti voisi sisältää perustietojen lisäksi esimerkiksi tiedot anestesiasta ja potilaan leikkasasennosta sekä kirurgisen toimenpiteen kulusta. (Walsh ym. 2012, 3 - 4.)

Suosituksessa suositellaan SEP-rekisteröintiä leikkausta edeltävästi sekä otetaan kantaa SEP:n stimulaatio- ja rekisteröintipaikkoihin (liite 5). Bilateraalisen SEP:n rekisteröimiseen kannustetaan ja ohjeistetaan myös kontrollimittauksiin ylä- ja alaraajoista operoitavasta tasosta riippuen, jotta mahdolliset tekniset ongelmat ja fysiologiset muutokset olisi helpompaa havaita ja erottaa mahdollisesta kirurgisesta toimenpiteestä johtuvasta muutoksesta. Suosituksen mukaan SEP:ä tulisi rekisteröidä koko toimenpiteen ajan, minimissään viiden minuutin välein. Suosituksessa hälytyskriteerien määrittäminen koskee toistettavaa muutosta vasteen amplitudissa, muodossa tai latenssissa, joka ei selity teknisillä syillä tai muutoksella anestesiassa (liite 5). (Walsh ym. 2012, 5 - 6.)

MEP:n kohdalla suosituksessa kuvaillaan relatiiviset kontraindikaatiot, kuten huonossa hoitotasapainossa oleva epilepsia, aivoimplantti, kallopuutos tai tahdistin. Stimulaatioasetukset käydään läpi samoin kuin vaihtoehtoiset stimulaatioelektrodipaikat (liite 6). Bilateraalinen rekisteröinti kriittisissä, mutta kirurgian suhteen turvallisissa vaiheissa, olisi suositeltavaa. Mikäli anestesiassa, lämpötilassa tai verenpaineessa tapahtuu muutoksia tai ilmenee teknisiä ongelmia, voi kontrollilihasten rekisteröimisestä olla hyötyä. Myös merkittävien muutosten, kuten iskemian, venytyksen tai paineen aiheuttamien muutosten havaitseminen voi helpottua, jos rekisteröidään myös leikkausalueen yläpuolisia lihaksia. Hälytyskriteerit tulee määrittää. On varmistettava, että muutokset amplitudissa, vasteiden muodossa tai latenssissa eivät johdu teknisistä ongelmista tai anestesiamuutoksista. Suosituksessa mainitaan myös muita MEP:n leikkausvalvonnan yleisimpiä hälytyskriteereitä, kuten ”kaikki tai ei mitään” ja ärsytyskynnyksen nousu. (Walsh ym. 2012, 6 - 7.)

3.5 International Organization of Societies for Electrophysiological Technology (OSET)

The International Organization of Societies for Electrophysiological Technology (OSET) nimettiin vuonna 1977 Hollannissa, Amsterdamissa. OSET:n tavoitteena on kaikissa maissa elektrofysiologisen koulutuksen ja korkean tietotason saavuttamisen edistäminen. OSET:n pyrkimyksenä on myös edistää tieteellistä tutkimusta, parantaa opetuksen laatua sekä luoda ja ylläpitää tehokasta yhteistyötä elektrofysiologisella alalla toimivien kansainvälisten ja kansallisten tahojen kanssa. (OSET 2017-10-14.)

OSET on kirjannut parhaat käytännöt neurofysiologisten mittausten kuten EEG:n, SEP:n ja BAEP:n suorittamisessa kirurgian aikana. Kyseinen suositus on laadittu tarjoamaan kansainvälisesti tunnustettuja menettelytapoja muun muassa bioanalyttikoiden/laboratoriohoitajien työskentelyn perustaksi. (OSET 2017-10-15.)

Best Practices for Performing Neurodiagnostic Procedures: Guidelines for Performing EEG and Evoked Potential Monitoring During Surgery

OSET:n (1999) suositus koskee EEG:n ja herätepotentiaalien valvontaa leikkauksen aikana. Suosituksen tarkoituksena on ollut julkaista menettelytavat, joita voidaan kansainvälisesti noudattaa. Suositus koskee monitoroivaa henkilöstöä, leikkauksen aikaista leikkausvalvontaa yleisesti sekä turvallisuuskäytäntöjä. Henkilöstön pätevyysvaatimukset ja vastuualueet on eritelty. Suosituksessa on käyty leikkausvalvontatekniikkaa läpi preoperatiivisten ja anestesian aikaisten lähtötason mittausten, jatkuvan leikkausvalvonnan, ongelmanratkaisun, dokumentoinnin sekä hälytyskriteerien kautta. Sähköturvallisuus ja infektion torjunta on myös käsitelty. Varsinaisista menetelmistä suosituksessa käydään läpi SEP, BAEP ja EEG. (Cross, Klettke & Taskey 1999.)

SEP-leikkausvalvonnan osalta suosituksessa on esitetty stimulaatioon ja rekisteröintiin liittyvät yksityiskohdat, kuten elektrodit, kytkennät ja asetukset (liite 5). Myös SEP:n käyttöaiheet, kuten selkäranka- ja aivorunkokirurgia sekä perifeerisen hermon toiminnan leikkausvalvonta on kirjattu. Hälytyskriteerit tulee olla yhteisesti sovittuna. Suosituksessa on annettu käytännön esimerkkejä SEP-leikkausvalvonnan aikana mahdollisesti esiintyvistä erilaisista ilmiöistä tai ongelmista ja ratkaisuja tällaisiin tilanteisiin. Lopuksi on kuvattu keskiuurteen tunnistaminen SEP-vasteiden vaiheenkäännön avulla sekä takajuuren ja takajuosteen yhtymiskohdan paikantamismenetelmä. (Cross ym. 1999.)

Suosituksessa on kuvattu myös BAEP:n ja EEG:n rekisteröinti, elektrodityyppi- ja asettelu sekä -kytkennät. BAEP:n stimulaatioon liittyvät yksityiskohdat on myös esitetty (liite 4). Kuulon säilyttämiseksi BAEP:a tulisi suosituksen mukaan hyödyntää kolmoishermon mikrovaskulaarisen dekompression aikana ja kuulohermon kasvaimen poiston yhteydessä. EEG:tä voidaan monitoroida monien erilaisten kirurgisten toimenpiteiden yhteydessä, joissa aivojen verenkierto voi vaarantua. Tällaisia ovat kaulavaltimokirurgia, intrakraniaalinen aneurysmakirurgia ja sydämen ohitusleikkaus. Kraniotomian aikana elektrokortikografiaa hyödynnetään epileptisen pesäkkeen paikallistamisessa tai kasvaimiin liittyvän epileptisen toiminnan havaitsemiseksi. Epilepsiakirurgian aikana voidaan määrittää puheen ja muistin suhteen hallitseva aivopuolisko Wada-testillä. Bioanalyytikon/laboratoriohoitajan tulee suosituksen mukaan tietää anestesia-aineista ja tuntea niiden vaikutus EEG:hen. (Cross ym. 1999.)

3.6 American Society of Electroneurodiagnostic Technologists (ASET)

American Society of Electroneurodiagnostic Technologists (ASET) perustettiin vuonna 1959 Yhdysvalloissa New Jerseyssä. Se on neurodiagnostisen alan ammattilaisten johtava jäsenorganisaatio. ASET:in tavoitteena on edistää jäsentensä ammattitaitoa tarjoamalla innovatiivisia oppimismahdollisuuksia sekä tukemalla laadukasta potilashoitoa neurodiagnostisissa tutkimuksissa. (ASETa 2017-10-14.) ASET on määrittänyt ja hyväksynyt standardeja vuodesta 1997 lähtien muun muassa EEG- ja herätepotentiaalitutkimuksista, IONM:stä, neurografiasta, video-EEG -monitoroinnista ja polysomnografiasta. (ASETb 2017-10-14).

ASET (2011) on määritellyt tarkasti bioanalyytikoiden/laboratoriohoitajien ammatilliset pätevyysvaatimukset neurofysiologisten leikkausvalvontojen suorittamiseksi. ASET:n suositukset pohjautuvat sekä ACNS:n että ASNM:n suosituksiin.

National competency skill standards for performing intraoperative neurophysiologic monitoring

ASET:n kansallinen standardi neurofysiologisen leikkausvalvonnan pätevyysvaatimuksille on luotu pätevyyden arvioinnin kriteereiksi koskien lähinnä bioanalyytikoita/laboratoriohoitajia. Standardissa on tarkasteltu pätevyysvaatimuksia ydinosamisen, osaamisen kehittämisen sekä

menetelmien käytännön teknisen hallinnan näkökulmasta. Vuorovaikutus potilaan kanssa sekä laadukas hoitotyö on huomioitu. Ydinosaminen sisältää ennen kirurgiaa huomioitavat seikat, kuten potilaan tunnistamisen, anestesia-suosituksista keskustelemisen, monitorointikytkentöjen valinnan, tarvittavan laitteiston toiminnan ja asetusten tarkastamisen, leikkaussaliympäristössä työskentelyn sekä leikkausvalvonnan aikana asianmukaisesti toimimisen ja toimenpiteen dokumentoinnin. (ASET 2011.)

Ammattitaidon kertymisen myötä monitoroitavien ratojen anatominen tuntemus, vaarassa olevien rakenteiden tunnistus ja kirurgian aikaisten kriittisten vaiheiden ymmärtäminen sekä elintoiminnoissa tapahtuvien muutosten vaikutus monitoroitaviin vasteisiin tulisi hallita. Leikkaussalietikettiä tulisi noudattaa ja sen mukaisesti potilas-, sähkö- ja työturvallisuutta. Osaamisen kehittämiseksi on lueteltu monia eri keinoja leikkausvalvonnan jälkitarkastelusta yhdessä neurofysiologin kanssa aina sertifikaatin suorittamiseen ja artikkelien lukemisesta kouluttautumiseen ja kouluttamiseen. (ASET 2011.)

Kolmantena ASET:n pätevyysvaatimuksissa on huomioitu menetelmien teknisen hallinnan osa-alue. Se kattaa yksityiskohtaisesti leikkausvalvonnan menetelmistä EEG:n, EMG:n, motoristen aivohermojen leikkausvalvonnan, pedikkeliruuvi- ja hermon suoran stimulaatiotekniikan, SEP:n, tunto/liikeaivokuoren paikantamisen, BAEP:n sekä MEP:n leikkausvalvonnan. Menetelmien kokonaisvaltaisen hallinnan lisäksi ASET korostaa kommunikoinnin tärkeyttä leikkaussali-henkilöstön sekä päävastuussa olevan klinisen neurofysiologin kanssa. (ASET 2011.)

4 OPINNÄYTETYÖN TUTKIMUSTEHTÄVÄ JA TAVOITE

Tämä opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää neurofysiologisten leikkausvalvontojen käytänteitä Suomen yliopistollisissa sairaaloissa sekä verrata soveltuvien osien kyselystä saatuja tuloksia kansainvälisiin suosituksiin, kannanottoihin ja katsauksiin.

Tavoitteena oli tuottaa uutta tietoa neurofysiologisten leikkausvalvontojen käytänteistä Suomessa.

Tämän opinnäytetyön tehtävänä oli:

1. kartoittaa kyselytutkimuksen avulla neurofysiologisten leikkausvalvontojen käytäntöjä yliopistollisissa sairaaloissa Suomessa.
2. verrata kyselystä saatuja tuloksia neurofysiologiin leikkausvalvontoihin liittyviin näyttöön perustuviin kansainvälisiin suosituksiin, kannanottoihin ja katsauksiin.

5 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Tämä opinnäytetyö seuraa kvantitatiivisen eli määrällisen tutkimuksen menetelmäsuuntausta. Kvantitatiivisen tutkimuksen perustana on teoria ja teoreettiset käsitteet. Tämän tutkimuksen teoreettisessa osassa kuvataan leikkausvalvontojen neurofysiologisiin menetelmiin liittyvää teoretietoa, jota hyödynnetään kyselyn rakentamisessa. Tutkimusaineiston keruun, tulosten analysoinnin ja raportoinnin jälkeen hyödynnetään jälleen teoretietoa, kun tutkimustuloksia tulkitaan. (Vilkkä 2007, 25 - 26.) Kvantitatiivisen tutkimuksen tarkoituksena on esimerkiksi kuvata, kartoittaa tai vertailla ilmiöitä (Vilkkä 2007, 19 - 22; Hirsjärvi, Remes & Sajavaara 2001, 127 - 128).

5.1 Kyselytutkimus tutkimusmenetelmänä

Kyselytutkimuksen suosio tiedonkeruu- ja analysointivälineenä on kasvanut (Vehkalahti 2014, 7) ja sillä on merkittävä asema tiedon keräämisessä ja tarkastelussa. Kysely voi sisältää erilaista tiedonkeruuta aina mielipidetiedusteluista laajempiin kyselytutkimuksiin. (Vehkalahti 2014, 11.) Kyselytutkimuksen on menetelmänä perinteisesti katsottu olevan enemmän kvantitatiivista kuin kvalitatiivista eli laadullista tutkimusta (Vehkalahti 2014, 13). Kyselytutkimus voidaan toteuttaa lomakkeen muodossa esimerkiksi Internetin välityksellä palvelimella olevan kyselypohjan avulla tai sähköpostin liitetiedoston muodossa (Kananen 2014, 16).

Oleellinen osa kvantitatiivisen tutkimuksen tekemisessä on tutkittavaa asiaa koskevien teoreettisten käsitteiden operationalisointi. Tämä termi kuvaa prosessia, jolla pyritään muuttamaan teoria mitattavaan muotoon ja lähemmäs käytäntöä. (Vilkkä 2007, 36.) Kvantitatiiviseen kyselytutkimukseen liittyy teorian purkaminen aluksi pienempiin osa-alueisiin. Osa-alueet puolestaan operationalisoidaan eli puretaan kysymyksiksi, jotka taas pyritään vakioimaan vastausvaihtoehdoiksi. Teorian tunteminen on tärkeää, sillä on aina tiedettävä tarkasti, mitä tutkitaan. Myös kysymysten muoto on oltava vastaajille tuttu ja kysymykset pyritään laatimaan niin, että vastaajat ymmärtävät kysymykset samalla tavalla. (Vilkkä 2007, 36 - 38.)

Aineistonkeruu tapahtuu standardoidusti ja tutkimuksen kohteena on tietty joukko ihmisiä, joista pyritään valitsemaan edustava otos (Hirsjärvi ym. 2001, 180). Hyvä otanta-asetelma mahdollistaa luotettavien johtopäätösten tekemisen eikä tällöin välttämättä vaadita suurta otosta. Otoksen katsotaan olevan edustava kuitenkin vain silloin, kun vastaajat edustavat kaikkia niitä henkilöitä, joita tutkittava ilmiö koskee. Vastaajat voidaan valita eri otantamenetelmällä, mutta luotettavuuden kannalta oleellista otannassa on satunnaisuus perusjoukon sisällä. (Vehkalahti 2014, 43.) Jos kysely lähetetään koko kohderyhmälle, jota ilmiö koskettaa ja josta tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita, puhutaan kokonaistutkimuksesta. Kokonaistutkimusta kannattaa käyttää, kun kysymyksessä on pieni kohderyhmä. (Kananen 2014, 169).

Saatekirje on tärkeä osa kyselytutkimusta. Täsmällinen ja kiinnostava saatekirje voi parhaassa tapauksessa motivoida vastaajaa ja lisätä näin vastausten luotettavuutta (Vehkalahti 2014, 48). Saatekirjeestä tulee käydä ilmi tutkimuksen tarkoitus, vastaajien valintakriteerit ja tutkimustulosten mahdollinen hyödyntäminen (Vehkalahti 2014, 47). Tutkimuksen tekijän yhteystiedot tulisi olla saatekirjeessä, sillä myös se lisää luotettavuutta ja voi vaikuttaa vastausprosenttiin. Vastausten käsittely luottamuksellisesti sekä vastaajien anonymiteetin säilyttäminen ovat tärkeitä seikkoja mainita. (Kananen 2014, 196.)

Kun vastaukset on saatu ja aineisto on koossa, pitää siihen perehtyä. Aineistoa voi joutua muokkaamaan ennen analyysia. Määrällisessä tutkimuksessa voidaan yksittäisiä muuttujia tarkastella erilaisten jakaumien, tunnuslukujen, kuvien ja taulukoiden avulla. (Vehkalahti 2014, 51 - 52.) Strukturoidut kysymykset on vakioinnin vuoksi helppo saattaa analysoitavaan muotoon (Vilkka 2014, 112). Kvantitatiivisessa tutkimuksessa voidaan soveltaa tilastollisia menetelmiä, sillä aineistot koostuvat suurimmaksi osaksi luvuista (Vehkalahti 2014, 13). Avoimilla kysymyksillä saadaan vastauksia, jotka täydentävät muuta saatua tietoa ja niitä voidaan analysoida laadullisilla menetelmillä. (Vehkalahti 2014, 13.) Tilastollinen analyysi pienistä aineistoista ei tuota luotettavia tuloksia kvantitatiivisen tutkimuksen näkökulmasta (Kananen 2014, 169).

5.2 Kyselylomakkeen suunnittelu ja laatiminen

Aihealueena leikkausvalvonnat ovat laaja menetelmien ja käytäntöjen kokonaisuus. Aluksi tutustuttiin teorian tietoon alan kirjallisuuden avulla (Clinical Neurophysiology 2009; Intraoperative Monitoring of Neural Function, Handbook of Clinical Neurophysiology 2008). Lisäksi artikkelihakua tehtiin kirjastojen aineistotietokannoista, kuten Chinal Complete:sta, PubMed:sta, ScienceDirect:stä ja Terveysportista. Suurin osa suosituksista ja kannanotoistakin löytyivät tietokantahakujen ansiosta. Aihealueen jaottelu pienempiin osa-alueisiin perustui pitkälti artikkeleissa, suosituksissa ja kannanotoissa yleisimmin esiintyneisiin tai korostuneisiin seikkoihin. Kyselyn hahmottelu alkoi myös tämän teoriasisällön pohjalta laadittujen kuvitteellisten, joskin realististen, tapausselostusten avulla. Tapausselostusten laatimisessa käytettiin apuna kliinisen neurofysiologian erikoislääkärin asiantuntemusta. Laatimalla kolme erilaista esimerkkitapausta skolioosi-, takakuoppa- ja aivokasvainkirurgian näkökulmasta, kyselyn avulla pyrittiin kartoittamaan leikkausvalvontojen käytäntöjä, saamaan tietoa muun muassa käytössä olevista menetelmistä, laitteista ja tarvikkeista mutta myös ennen leikkausta ja leikkauksen jälkeen tehtävien tutkimusten käytöstä näillä potilailla.

Tämän opinnäytetyöhön liittyvän kyselyn laatimisessa käytettiin Webropol-sovellusta. Kysely jaoteltiin seitsemään eri osa-alueeseen, joita olivat *Taustakysymykset* (kaksi kysymystä), *Skolioosikirurgiaa* (yhdeksän kysymystä), *Takakuoppakirurgiaa* (seitsemän kysymystä) ja *Aivokasvainkirurgiaa* (yhdeksän kysymystä) koskevat kysymykset. *Laadunvarmistus ja henkilöstön perehdytys* (viisi kysymystä), *Laitteistot, materiaalit ja potilasturvallisuus*

(kahdeksan kysymystä) sekä *Nykytilanne ja tulevaisuus* (neljä kysymystä) kysyttiin omina kokonaisuuksinaan. Yhteensä kysymyksiä oli 44. Kysymykset olivat pääsääntöisesti monivalintakysymyksiä ja näistä saatavaa tietoa tarkennettiin ja täydennettiin avoimilla kysymyksillä.

Kysymyksissä käytettiin Likertin asteikkoa, jossa oli järjestysasteikolliset muuttujat 1–3 tai 1–5. Monivalintakysymyksistä, joissa asteikko oli 1–3, muuttujat jaoteltiin sanallisesti seuraavasti: *Ei koskaan*, *Tarvittaessa* ja *Aina*. Viiden (5) vaihtoehdon monivalintakysymyksissä vaihtoehdot olivat: *Täysin eri mieltä*, *Osittain eri mieltä*, *En osaa sanoa*, *Osittain samaa mieltä* ja *Täysin samaa mieltä*. Vaihtoehtoihin päädyttiin perehtymällä kyselytutkimuksen metodiikkaan ja Likertin asteikon toimivuuteen kartoittavassa kyselytutkimuksessa. Tuloksista voidaan näin helposti laskea, mitkä vaihtoehdot saivat eniten vastauksia. Vastaajat eivät voineet valita monivalintakysymyksistä kuin yhden vaihtoehdon eikä monivalintakysymykseen voinut jättää vastaamatta. Koska tiedostettiin rajalliset vastaamismahdollisuudet työpäivien aikana, vastaajille annettiin mahdollisuus keskeyttää kyselyyn vastaaminen jokaisen kysymyksen kohdalla. Tällä toiminnolla mahdollistettiin kyselyyn vastaaminen pienissä osissa ja pyrittiin minimoimaan vastauskato.

Kun tähän opinnäytetyöhön liittyvän kyselytutkimuksen vastaajajoukon valintaa pohdittiin, päädyttiin osoittamaan kysely kaikkien viiden yliopistollisen sairaalaan, HUS:n, KYS:n, OUS:n, TAYS:n ja TYKS:n klinisen neurofysiologian yksiköihin, monitoroinnista päävastuussa olevalle henkilölle. Tämän opinnäytetyön voidaan katsoa olevan kokonaistutkimus, jos oletetaan menetelmästä päävastuussa olevien henkilöiden edustavan kokonaisvaltaista käytännön osaamista ja kokemusta sekä vastuuta IOM-käytäntöjen noudattamisesta omissa organisaatioissaan. Koko perusjoukkoa ei tarkalleen tunnettu entuudestaan, vaan myös se oli tutkimuksessa yhtenä mielenkiinnon kohteista. Tarkoituksena oli kartoittaa yleistä linjaa IOM-käytäntöjen osalta: onko yhteneväisyyksiä tai toisaalta selkeitä eroavaisuuksia organisaatioiden kesken tai suosituksiin verrattuna.

Tässä opinnäytetyössä tiedonkeruumenetelmänä käytetyn kyselykaavakkeen ensimmäinen versio lähetettiin Webropol-sovelluksen kautta henkilöille, joille opinnäytetyön aihe oli tuttu heidän oman osaamisensa kautta ja näin asiantuntijat arvioivat lomaketta (Vilkkä 2014, 78). Arvioita saatiin opinnäytetyöntekijän omasta yksiköstä sekä yksikön ulkopuolisilta tahoilta. Palautetta pyydettiin muun muassa kyselyn toimivuudesta ja ajankäytöstä. Palautteen perusteella kyselylomaketta muokattiin lopulliseen muotoonsa muun muassa tarkentamalla kysymystekstejä, lisäämällä avoimia vastauskenttiä ja mahdollistamalla palaaminen edellisiin kysymyksiin. Kyselytutkimuksen varsinainen pilotointi olisi ollut haasteellista muutenkin pienen vastaajajoukon vuoksi, joten siitä luovuttiin.

Saatekirje (liite 2) laadittiin niin, että oleellisin tieto on heti kirjeen alussa. Saatekirjeessä selostettiin tutkimuksen aihe ja tarkoitus, kenelle kysely lähetetään, luottamuksellisuus sekä yhteystiedot. Kirje lähetettiin Webropol-sovelluksen kautta ja linkki kyselyyn oli saatekirjeen lopussa. Vastausajaksi oli kirjattu noin kolme viikkoa. Myös opinnäytetyöntekijän taustatiedot olivat kirjeessä. Vastaukset tulivat pääosin ajallaan eikä kaikkien vastausten saamiseksi tarvittu kuin yksi muistutusviesti. Myös muistutusviesti lähetettiin Webropol-sovelluksen kautta. Opinnäytetyöntekijän sähköpostiosoitetta hyödynnettiin kahdesti kysymysten tarkentamiseksi.

5.3 Aineiston kerääminen ja analysointi

Tähän opinnäytetyöhön liittyvä kyselytutkimus toteutettiin sähköisen kyselylomakkeen muodossa, koska kiinnostuksen kohteena olevat yksiköt sijaitsevat eri puolilla Suomea ja puhelinhaastattelu taas olisi sitonut vastaajia ajallisesti pidempään. Myös tavoitettavuusongelma olisi puhelinhaastattelussa ollut realistinen riski. Lisäksi kysymykset olivat muodoltaan sellaisia, että vastaamisen katsottiin vaativan selostusosioiden ja vaihtoehtojen näkemistä. Koska vastaajajoukko oli pieni, kysely osoitettiin klinisen neurofysiologian yksiköiden ylihoitajille, ylilääkäreille tai tutkimusluvassa mainitulle henkilölle, ja heidän toivottiin välittävän linkki eteenpäin vastaajille. Tämä menettely sekä Webropol-kyselytyökalu mahdollistivat vastausten keräämisen nimettöminä.

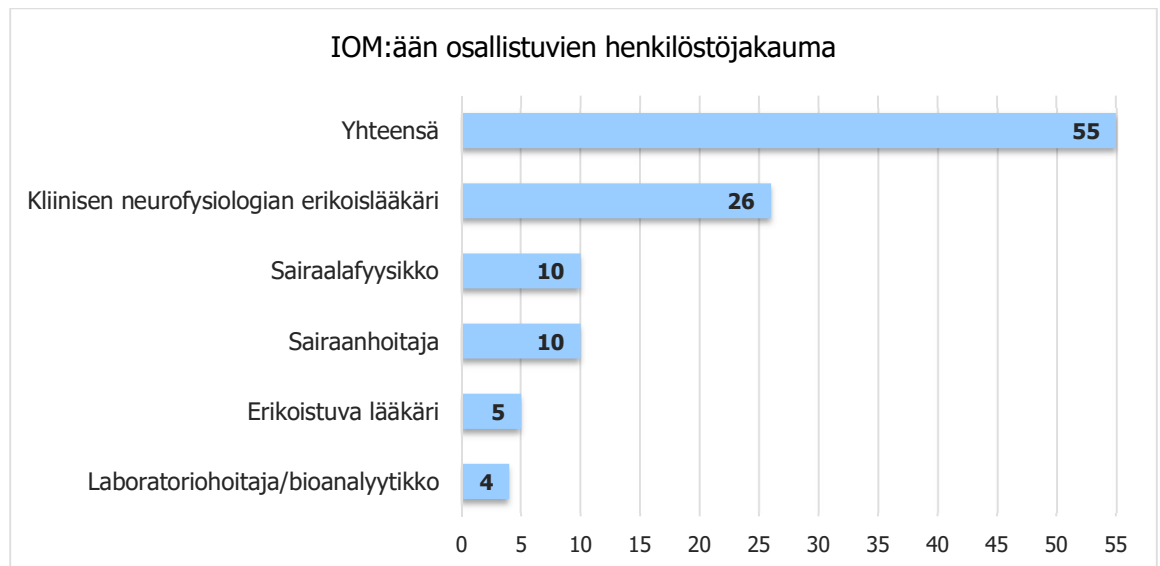
Kyselyyn vastaamisen ajankohta oli 30.1.–17.2.2017 välisenä aikana. Yhden muistutusviestikierroksen jälkeen viimeinen vastaus saatiin 20.2.2017. Vastausprosentti oli 100 eli kaikista yliopistosairaaloista saatiin vastaus ($n=5$). Hyvä vastausprosentti saattaa johtua tämän opinnäytetyön aiheen esittelystä vuoden 2015 KNF-päivien yhteydessä pidetyn IOM-työryhmän kokouksessa.

Viiden (5) vastaajan tuloksia ei voitu tarkastella tilastollisin menetelmin, mutta kyselyn strukturoitu osuus analysoitiin soveltuvien osien. Webropol-sovelluksen lisäksi Microsoft Excel 2016 -laskentataulukko-ohjelmalla yhdisteltiin kokonaisuuksia ja laadittiin kuvaajia kiinnostavista osioista. Avoiimiin kysymyksiin saadut vastaukset antoivat lisäinformaatiota IOM-käytännöistä ja nämä vastaukset kuvailtiin tuloksissa.

6 TULOKSET

6.1 Taustakysymykset

Yliopistollisten sairaaloiden kliinisen neurofysiologian yksiköiden IOM-vastuuhenkilöiltä kysyttiin leikkausvalvontojen suorittamisesta ja käytännöistä. Saatujen vastausten perusteella valvontoja tehdään yliopistollisissa sairaaloissa erilaisilla henkilöstökokoonpanoilla (kuvio 1).



KUVIO 1. Neurofysiologisiin leikkausvalvontoihin osallistuvien henkilöstöjakauma yliopistollisissa sairaaloissa.

Vastausten mukaan yhteensä 55 eri henkilöstön edustajaa osallistuu leikkausvalvontoihin. Suurin ryhmä, noin 50 % kaikista ammattilaisista, ovat kliinisen neurofysiologian erikoislääkärit ($n=26$). Seuraavaksi suurimpina ryhminä ovat sairaalafyysikot ($n=10$) ja sairaanhoitajat ($n=10$). Sairaalafyysikot osallistuvat valvontoihin neljässä (4) yliopistollisessa sairaalassa viidestä. Sairaanhoitajien ja erikoistuvien lääkäreiden ($n=5$) työpanosta käytetään kahdessa (2) yliopistollisessa sairaalassa. Kyselyn mukaan vain kahdessa (2) sairaalassa bioanalyytikot/laboratoriohoitajat ($n=4$) osallistuvat valvontoihin.

Kun vastaajilta kysyttiin, mikä nimitys olisi mielestänne kuvaavin leikkauksen aikaisten monitoroinnin nimitykseksi, kolme (3) viidestä vastaajasta totesi IONM:n eli Intraoperatiivisen neuro(fysiologisen) monitoroinnin sopivan parhaiten käsitteeksi ja toiseksi eniten vastauksia sai IOM eli Intraoperatiivinen monitorointi. Neurofysiologinen intraoperatiivinen monitorointi (NIOM) -nimitystä ei kuvannut kukaan vastanneista eikä muita nimityksiä ehdotettu.

6.2 Skolioosikirurgian leikkausvalvonta

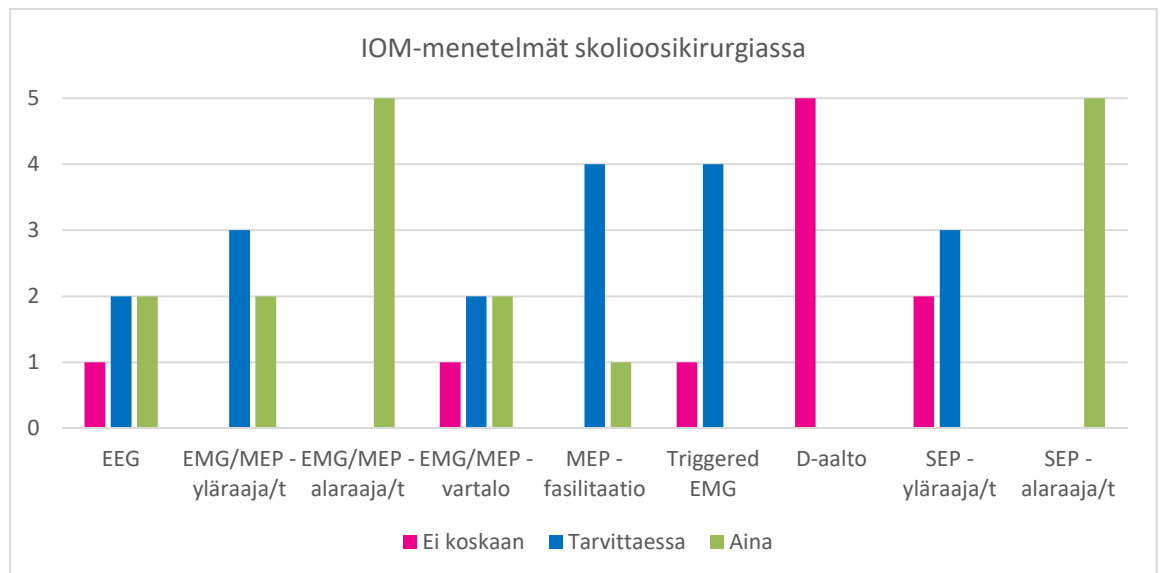
Kun haluttiin selvittää skolioosikirurgian aikaisia leikkausvalvontakäytäntöjä tapauselostuksen (kuvio 2) avulla, kysyttiin, tehdäänkö skolioosikirurgian leikkausvalvontaa varten preoperatiivisia tutkimuksia.

12-vuotias tyttö, terve, seurannassa todettu etenevä torakaalinen skolioosi. Kuvattaessa todetaan 66 asteen skolioosi. Lieviä selkäkipuja, ei alaraajaoireita. Kirurgi suunnittelee idiopaattisen skolioosin leikkausta posteriorisella pedikkeliruuvi- / tankofiksaatiolla. Mikä on pääsääntöisenä käytäntönä yksikössänne tämän tyyppisessä monitoroinnissa?

KUVIO 2. Kyselyn skolioosikirurgiaa koskeva tapauseloste.

Vaihtoehtoista EMG:tä tehtiin *tarvittaessa* kolmessa (3) yksikössä, mutta yhdessäkään yksikössä EMG ei kuulunut aina tehtäviin preoperatiivisiin tutkimuksiin. MEP-tutkimus tehdään yhdessä (1) yksikössä *aina* ennen skolioosikirurgista toimenpidettä, kun taas neljässä (4) yksikössä *ei koskaan*. SEP-tutkimus tehdään *tarvittaessa* preoperatiivisesti yhdessä (1) yksikössä ja kolmessa (3) yksikössä *ei koskaan*.

Seuraavaksi kysyttiin skolioosikirurgian leikkausvalvontaa, käytettyjä menetelmiä ja leikkausvalvonnan laajuutta (kuvio 3). Kaikissa viidessä (5) yksiköissä EMG:tä, MEP:ä ja SEP:ä monitoroidaan alaraajojen osalta *aina*. Yläraajojen kohdalla leikkausvalvonta toteutuu *tarvittaessa* kolmessa (3) yksikössä. Kahdessa (2) yksikössä *ei* monitoroida *koskaan* SEP:ä yläraajoista esimerkkitapauksen kaltaisessa operaatiossa.



KUVIO 3. Käytössä olevien IOM-menetelmien jakauma skolioosikirurgian aikana esimerkkitapauksessa.

Kahdessa (2) yksikössä monitoroidaan EMG:tä ja MEP:ä sekä yläraajoista ja vartalolta *aina*. Vartalolta MEP:ä monitoroidaan *tarvittaessa* kahdessa (2) yksikössä. Fasilitaatiota MEP:ssä

käytetään *tarvittaessa* neljässä (4) yksikössä ja yhdessä (1) *aina*. Esimerkkitapauksessa triggered-EMG on IOM-menetelmänä *tarvittaessa* neljässä (4) yksikössä, kun taas yhdessä (1) *ei koskaan*. D-aalto *ei koskaan* kuulu minkään yksikön leikkausvalvontamenetelmiin tämän kaltaisessa tapauksessa. EEG-tutkimus on käytössä kahdessa (2) yksikössä *aina*, mutta yhdessä (1) *ei koskaan*.

Lisäksi selvitettiin erikseen EEG:ssä käytössä olevia kytkentöjä. Kolme (3) yksikköä vastasi avoimeen kysymykseen koskien käytössä olevia EEG-kytkentöjä. Yhdessä yksikössä rekisteröidään EEG:tä keskilinjassa etualueelta "Cz-Fz" ja taka-alueelta "Cz-Oz" sekä poikittain "C3-C4". Toisessa yksikössä EEG:tä rekisteröidään kortikaalisesti "CPz-Fz, CPz-LM ja CP3-CP4" sekä niskan tasolta "C7-Fz". Kolmannessa vastanneessa yksikössä EEG-leikkausvalvonta toteutetaan kolmella kanavalla kytkennöillä "Fz-CP3, Fz-CP4 ja CP3-CP4".

Vastaajilta kysyttiin myös pedikkeliruuvistimulaation käyttöä skolioosikirurgian aikana. Molemmilla menetelmillä eli ruuvikanavia ja pedikkeliruuveja stimuloimalla kolme (3) yksikköä käyttäisi *tarvittaessa* pedikkeliruuvistimulaatiota tässä esimerkkitapauksessa, kaksi (2) yksikköä *ei koskaan*. Kun kysyttiin avoimella kysymyksellä muita käytössä olevia menetelmiä skolioosikirurgian monitoroinnissa, raportoi yksi (1) yksikkö käyttävänsä pudendaali-SEP- ja BCR-menetelmiä, mutta harvoin.

Esimerkkitapauksen kaltaisessa tilanteessa postoperatiivisia EMG-, MEP- ja SEP-tutkimuksia tehdään neljässä (4) yksikössä *tarvittaessa*. Yhdessä (1) yksikössä *ei koskaan*. Muita käytössä olevia postoperatiivisia menetelmiä ei raportoitu. Skolioosikirurgian leikkausvalvontaan liittyen kommentoitiin, että yleensä lähtötasomittaukset tehdään anestesiainduktion jälkeen. Muutaman minuutin välein toistuvia mittauksia tehdään pedikkeliruuvien laiton ja korrektion aikana. Viimeiset mittaukset tehdään haavan sulkua aloitettaessa. Mittausten välisenä aikana tarkkaillaan spontaani-EMG -toimintaa.

6.3 Takakuoppakirurgian leikkausvalvonta

Seuraavassa osiossa haluttiin selvittää takakuoppakirurgian aikaisia leikkausvalvontakäytäntöjä tapausselostuksen (kuvio 4) avulla.

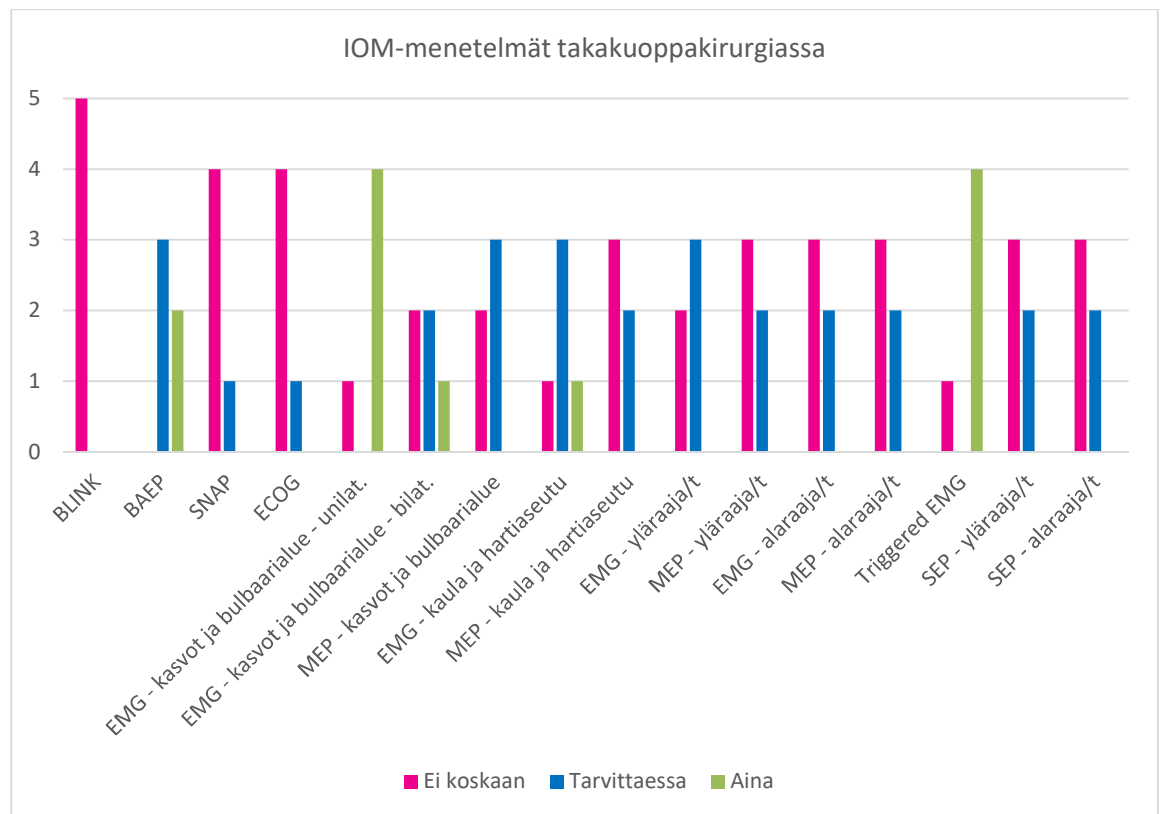
Potilas 52-vuotias mies. Viimeisen vuoden aikana oikean korvan kuulo on heikentynyt (kuulokynnykset dx 30dB ja sin 15dB) ja tasapainohäiriöt ovat lisääntyneet. MRI:ssä takakuopan alueella tuumorimainen muutos, painaa kevyesti aivorunkoa. Epäily vestibulaarivannoomasta (acousticneurinoma). Transemporaalinen avaus. Kirurgi suunnittelee tuumorin poistoa, pyytää KNF-leikkausvalvontaa. Mikä on pääsääntöisenä käytäntönä yksikössänne tämän tyyppisessä monitoroinnissa.

KUVIO 4. Kyselyn takakuoppakirurgiaa koskeva tapausseloste.

Ennen takakuoppakirurgiaa tehtäviksi tutkimusvaihtoehtoiksi annettiin BAEP, räpäysheijaste (Blink), EEG, EMG, MEP ja SEP. Näistä BAEP:a tehdään *aina* ennen leikkausta vain yhdessä (1)

yksikössä, *tarvittaessa* taas kolmessa (3) yksikössä. Blink:ä tehdään *tarvittaessa* yhdessä (1) yksikössä, mutta neljässä (4) yksikössä kyseistä tutkimusta *ei* tehdä *koskaan* preoperatiivisesti. EEG:tä *ei* tämänkaltaista leikkausta ennen tehdä kolmessa (3) yksikössä *koskaan*, kun taas kahdessa (2) tehdään *tarvittaessa*. EMG kuuluu osana preoperatiivisiin tutkimuksiin kahdessa (2) yksikössä *aina*, yhdessä (1) *tarvittaessa*. MEP-tutkimusta käytetään ennen leikkausta *tarvittaessa* kolmessa (3) yksikössä, kahdessa (2) taas *ei koskaan*. SEP-tutkimus *ei koskaan* kuulu preoperatiivisiin tutkimuksiin kuvatuskaltaiseen leikkaukseen liittyen kolmessa (3) yksikössä ja kahdessa se voidaan *tarvittaessa* tehdä. Muita käytössä olevia preoperatiivisia menetelmiä takakuoppakirurgian leikkausvalvontaa ajatellen ei raportoitu.

Kun kartoitettiin, mitä menetelmiä käyttäen ja missä laajuudessa kussakin yksikössä takakuoppakirurgiaa monitoroidaan leikkauksen aikana, hajontaa oli jonkin verran (kuvio 5). Vastausten perusteella räpäysheijaste ei kuulu missään yksikössä takakuoppakirurgian aikana monitoroitaviin vasteisiin. BAEP:a monitoroitaisiin *aina* kahdessa (2) ja *tarvittaessa* kolmessa (3) yksikössä. Sekä kuulohieron vasteen mittausta (SNAP) että elektrokokleografiaa (ECOG) tehdään *tarvittaessa* yhdessä (1) yksikössä, mutta neljässä (4) muussa *ei koskaan*.



KUVIO 5. Käytössä olevien neurofysiologisten leikkausvalvontamenetelmien jakauma takakuoppakirurgian aikana esimerkkitapauksessa.

EMG-signaalia monitoroidaan esimerkkitapauksessa unilateraalisesti kasvojen alueelta ja bulbaarialueelta sekä trigattuna neljässä (4) yksikössä *aina*, yhdessä (1) taas *ei koskaan*. Bilateraalaisesti kasvojen alueen ja bulbaarialueen lihasten toimintaa tarkkaillaan yhdessä (1)

yksikössä *aina*, kahdessa (2) *tarvittaessa* ja kahdessa (2) *ei koskaan*. MEP:ä kasvojen alueelta ja bulbaarialueelta sekä EMG:tä yläraajoista tehdään *tarvittaessa* kolmessa (3) yksikössä, kun taas kahdessa (2) *ei koskaan*. Kaulan ja hartiaseudun lihasten EMG:tä tehdään vain yhdessä (1) yksikössä *aina*, kolmessa (3) *tarvittaessa*. MEP-tutkimusta kaulan- ja hartiaseudun alueelta, ylä- tai alaraajoista, EMG-tutkimusta alaraajoista ja SEP-tutkimusta ylä- tai alaraajoista tehdään *tarvittaessa*, kahden (2) yksikön toimesta, mutta kolmessa (3) *ei koskaan*. Muita käytössä olevia menetelmiä takakuoppakirurgian leikkausvalvontaa ajatellen ei raportoitu.

Eräässä yksikössä takakuoppakirurgian leikkausvalvontakäytäntönä on, että KNF-yksikön hoitaja aloittaa leikkausvalvonnan. Leikkauksen aikana KNF-yksikön henkilökuntaa ei kuitenkaan salissa ole. Kirurgi stimuloi tunnistamistarkoituksessa monopolaarikärjellä kudosta ja kuuntelee itse EMG-signaalissa mahdollisesti tapahtuvaa muutosta.

Kun tiedusteltiin postoperatiivisten tutkimusten tekemistä esimerkkitapauksessa, vastausten perusteella räpäysheijaste-, BAEP- ja SEP-tutkimukset eivät kuulu valikoimaan neljässä (4) yksikössä, mutta yksi (1) yksikkö käyttää *harvoin* kyseisiä tutkimuksia leikkauksen jälkeisen tilanteen kartoittamisessa. Vain yhdessä (1) yksikössä EMG:tä tehdään *aina* postoperatiivisesti, kolmessa (3) *harvoin*. MEP:ä käytetään *harvoin* kahdessa (2) yksikössä eikä lainkaan kolmessa (3) yksikössä leikkauksen jälkeen. Muita käytössä olevia postoperatiivisia menetelmiä ei raportoitu.

Takakuoppakirurgiaan liittyen haluttiin tarkentaa leikkausvalvontaan liittyviä käytäntöjä. Tuumorin koon ja medullakompression asteen kerrottiin vaikuttavat monitoroinnin laajuuteen. Kommentoitiin myös, että BAEP on harvoin informatiivinen. Yksi vastaaja halusi tarkentaa, että esimerkkitapauksessa monitoroitaisiin EMG:tä vain kasvo- ja kolmoishermon hermottamista lihaksista. Lisäksi käytettäisiin hermojen stimulaatiota ja tarvittaessa BAEP-leikkausvalvontaa. Mikäli tumorin olisi alempana ja painaisi aivorunkoa, monitoroitaisiin myös alempia aivohermoja ja käytettäisiin lisäksi MEP- ja SEP-monitorointia.

6.4 Aivokasvainkirurgian leikkausvalvonta

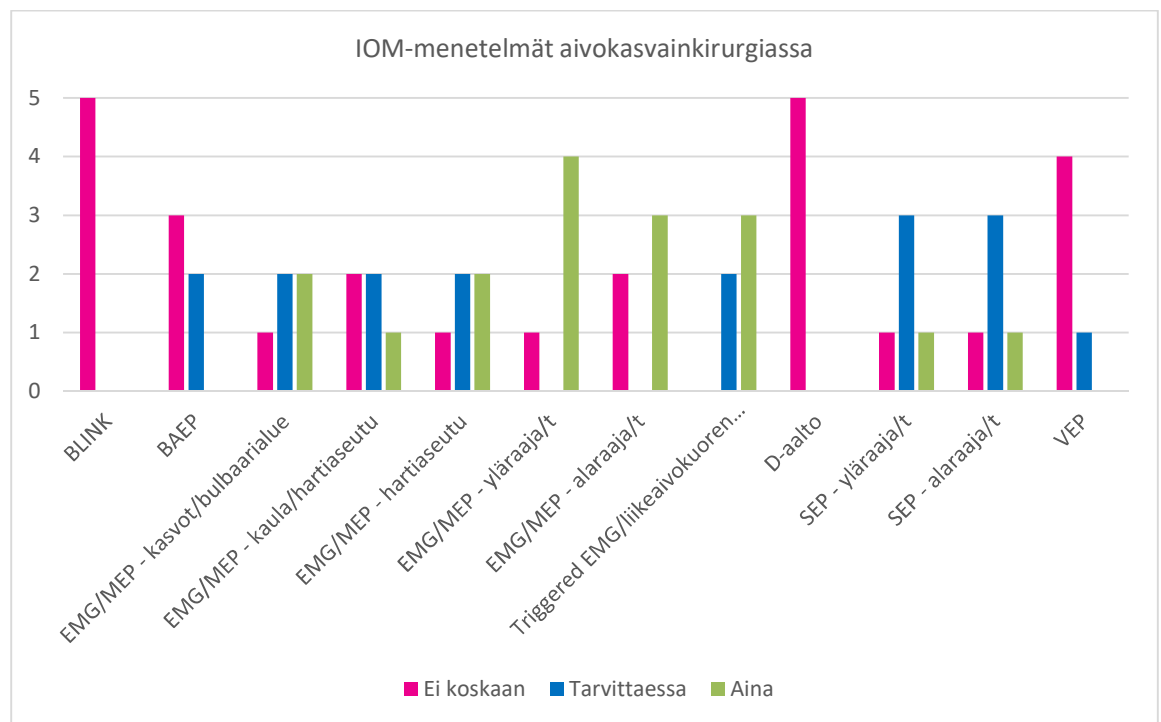
Seuraavassa kysymyskokonaisuudessa haluttiin selvittää aivokasvainkirurgiaa edeltäviä, sen aikaisia sekä jälkeisiä leikkausvalvontakäytäntöjä tapausselostuksen avulla (kuvio 6).

33-vuotias mies, jolla todettu vasemmassa raajaparissa lisääntyvästi tuntohäiriöitä ja kömpelyyttä. Tutkimuksessa on todettu 2–4 cm:n kokoinen tuumori oikean hemisfäärin alueella. Keskiviivan siirtymistä ei ole, mutta lateraaliventrikkeli on lievästi komprimoitunut. Tuumorin ympärillä ödeemaa. Neurokirurgi suunnittelee tuumorin poistoa. Mikä on pääsääntöisenä käytäntönä yksikössänne tämän tyyppisessä monitoroinnissa?

KUVIO 6. Kyselyn aivokasvainkirurgiaa koskeva tapausseloste.

Preoperatiivisista tutkimuksista aivokasvainkirurgian leikkausvalvontoihin liittyen tehdään kahdessa (2) paikassa liikeaivokuoren kartoitus rTMS-laitteella *aina* ja kolmessa (3) tarvittaessa. BAEP-, Blink-, EMG- ja VEP-tutkimuksia tehdään *tarvittaessa* kahdessa (2) yksikössä, mutta kolmessa (3) *ei koskaan*. MEP- ja SEP-tutkimuksia tekee ennen leikkausta *tarvittaessa* kolme (3) yksikköä viidestä ja kaksi (2) yksikköä *ei koskaan*. Muita käytössä olevia preoperatiivisia menetelmiä aivokasvainkirurgian leikkausvalvontaa ajatellen ei vastauksissa raportoitu.

Seuraavaksi kysyttiin, mitä menetelmiä käyttäen ja missä laajuudessa neurofysiologista leikkausvalvontaa toteutetaan esimerkkitapauksessa (kuvio 7). Yläraajalihasten EMG/MEP:ä olisi monitoroinut neljä (4) yksikköä viidestä, mutta yhdessä (1) yksikössä *ei koskaan*. Alaraajalihasten EMG/MEP on käytössä kolmessa (3) yksikössä *aina*, kuten myös triggered-EMG/liikeaivokuoren kartoitus aivojen pinnalta stimuloimalla. Edellistä *ei* käytetä leikkausvalvontamenetelmänä *koskaan* kahdessa (2) yksikössä ja jälkimmäinen toteutuu *tarvittaessa* kahdessa (2) yksikössä.



KUVIO 7. Käytössä olevien neurofysiologisten leikkausvalvontamenetelmien jakauma aivokasvainkirurgian aikana esimerkkitapauksessa.

Kasvojen/bulbaarialueen sekä hartiasoudun EMG/MEP kuuluu leikkausvalvontaprotokollaan kahdessa (2) yksikössä *aina* ja kahdessa (2) *tarvittaessa*. Kaulan/hartiasoudun EMG/MEP kuuluu *aina* kuitenkin vai yhdessä (1) yksikössä tämänkaltaiseen leikkauksen aikaiseen leikkausvalvontain, kun kahdessa (2) yksikössä *ei koskaan*. SEP:n osalta yläraajojen ja alaraajojen sensorisen radaston leikkausvalvonta toteutuu *aina* yhdessä (1) yksikössä. Molemmissa tapauksissa kolmessa (3) yksikössä leikkauksen aikana monitoroitaisiin SEP:ä *tarvittaessa*. *Tarvittaessa* BAEP-tutkimusta käytetään kahdessa (2) yksikössä, mutta kolmessa (3) *ei koskaan*. Blink-tutkimusta ja D-aalto -rekisteröintiä ei olisi esimerkkitapauksessa käyttänyt

mikään yksikkö leikkausvalvontamenetelmänä. VEP-tutkimus olisi käytössä yhdessä (1) yksikössä viidestä *tarvittaessa*, mutta neljässä (4) *ei koskaan*.

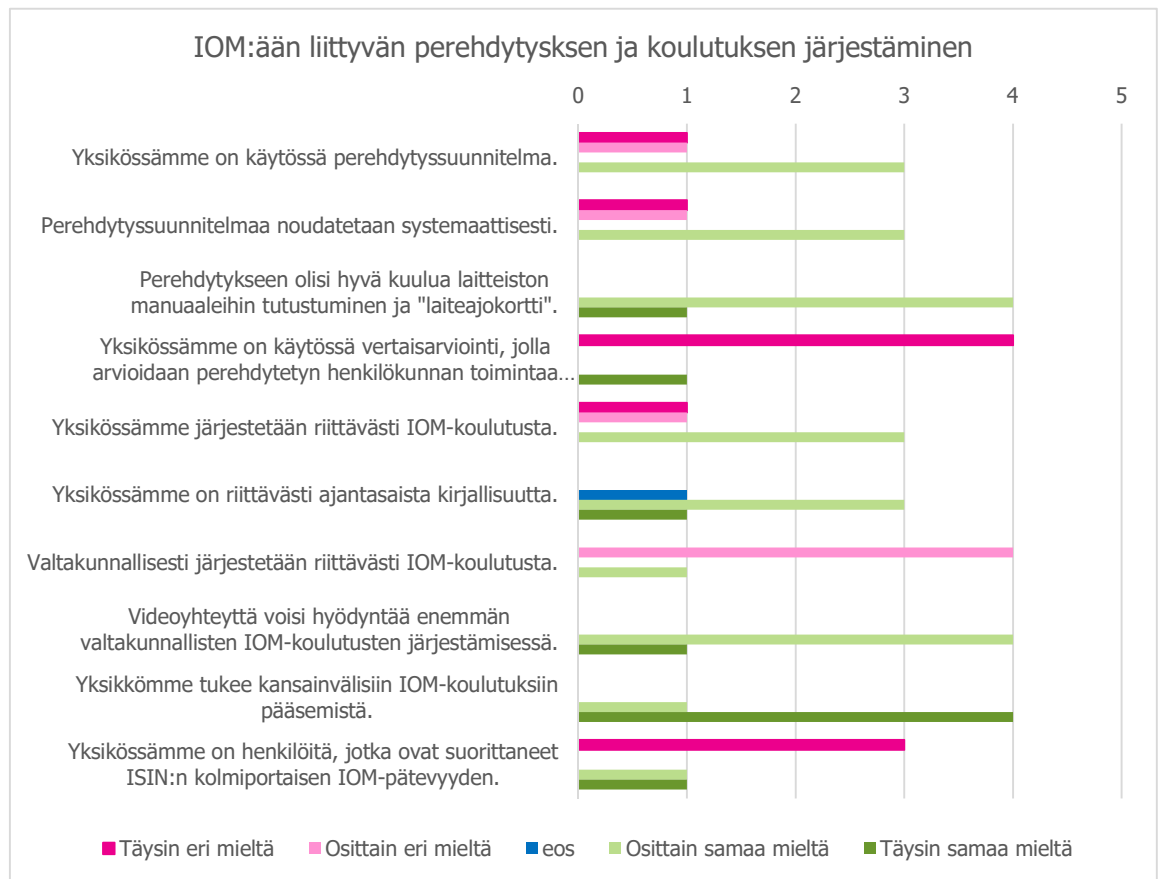
Missään yksikössä *ei* rekisteröidä *koskaan* D-aaltoa supratentoriaalisten tuumoreiden poiston yhteydessä. Yhdessä (1) yksikössä ydinjatkoksen tuumoreiden poiston yhteydessä käytetään *aina* D-aaltorekisteröintiä ja yhdessä (1) *tarvittaessa*. Kaula- ja rintarangan tuumorin poiston yhteydessä kolmessa (3) yksikössä tämä menetelmä on *aina* käytössä ja kahdessa (2) *tarvittaessa*. D-aalto -elektrodi asetetaan leikkaussalissa subduraalisesti tai epiduraalisesti *tarvittaessa* kolmessa (3) paikassa, *aina* subduraalisesti kahdessa ja epiduraalisesti yhdessä (1) paikassa. Elektrodi *ei* aseteta *koskaan* transkutaanisesti missään yksikössä eikä elektrodi varten tehdä omaa avausta.

Kolme yksikköä vastasi avoimeen kysymykseen, kun tiedusteltiin, onko yksiköissä käytössä muita menetelmiä aivokasvainkirurgian leikkausvalvontaa ajatellen. Yksi vastaajista tarkentaa, että varsinaisesti yläraajojen SEP:ä ei monitoroida vaan monitoroinnissa käytetään medianus-SEP:ä liikeavokuoren paikantamiseen toimenpiteen alussa. Lisäksi käytetään motoriselle aivokuorelle asetettavaa subduraalista strip-elektrodiä elektrokortikografian monitoroimiseksi. Myös kortikospinaalisen tai -bulbaarisen radaston subkortikaalinen leikkausvalvonta (SCS) stimulaatioimukärjen avulla tuumorin reduktion yhteydessä tuotiin esiin kahden yksikön vastauksessa. Toinen näistä yksiköistä tarkentaa vielä käyttävänsä lisäksi triggered EMG -menetelmää.

Postoperatiivisia tutkimuksia esimerkkitapauksen kaltaisessa tilanteessa ei missään yksikössä tehdä aina. Tarvittaessa BAEP voidaan tehdä yhdessä (1) yksikössä, samoin kuin VEP. EMG ja SEP voidaan myös tarvittaessa tehdä kahdessa (2) yksikössä, MEP kolmessa (3) yksikössä. Yksi yksiköistä raportoi, että muuna postoperatiivisena menetelmänä on repetitiivinen transkraniaalinen magneettistimulaatio eli rTMS. Aivokasvainkirurgiaan liittyen yksi vastaajista kommentoi, että mikäli tuumori on puhealueella, voidaan valvekraniotomian aikana kyseistä aluetta kartoittaa sähköstimulaatiolla.

6.5 Laadunvarmistus ja henkilöstön perehdytys

Tässä kysymysryhmässä vastaajia pyydettiin arvioimaan perehdytyksen ja koulutuksen järjestämiseen liittyviä seikkoja neurofysiologisen leikkausvalvonnan näkökulmasta (kuvio 8). Leikkausvalvontojen osalta perehdytysuunnitelma on käytössä kolmessa yksikössä viidestä. Kaksi (2) vastaajaa viidestä on *eri mieltä* väittämän kanssa. Sama vastausjakauma oli myös väittämässä "*Perehdytysuunnitelmaa noudatetaan systemaattisesti*" sekä "*Yksikössämme järjestetään riittävästi IOM-koulutusta*". Kaikki yksiköt kokivat, että "*Perehdytykseen olisi hyvä kuulua laitteiston manuaaleihin tutustuminen ja 'laiteajokortti'*".



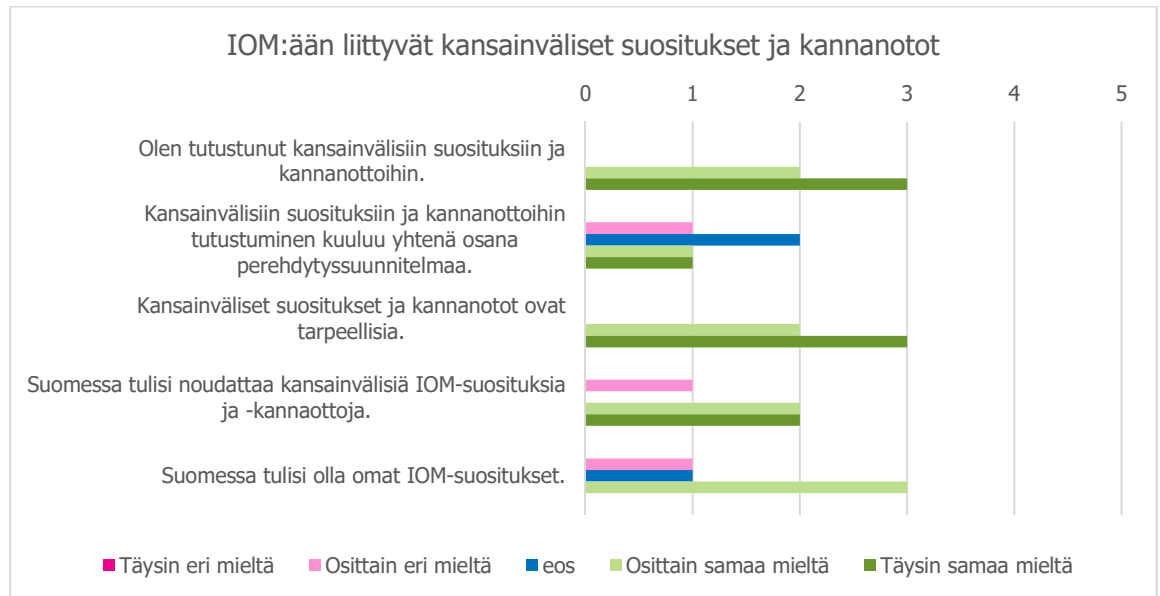
KUVIO 8. Perehdytyksen ja koulutuksen järjestäminen leikkausvalvontoihin liittyen.

Vertaisarviointia, jolla arvioidaan perehdytetyn henkilöstön toimintaa leikkausvalvontojen aikana leikkaussaliolosuhteissa, ei ole käytössä kuin yhdessä (1) yksikössä. Samaa mieltä väittämän "*Yksikössämme on riittävästi ajantasaista kirjallisuutta*" kanssa oli neljä (4) viidestä vastaajasta. Suurin osa vastaajista oli sitä mieltä, että valtakunnallisesti ei järjestetä riittävästi IOM-koulutusta ja yksi vastaajista oli väittämän kanssa *osittain samaa mieltä*. Videoyhteyden hyödyntämisen valtakunnallisten IOM-koulutusten järjestämisessä kokee hyödyllisenä kaikki vastaajat. Myös kansainvälisiin IOM-koulutuksiin pääsemistä tuetaan vastausten mukaan kaikissa yksiköissä.

Kun vastaajia pyydettiin kertomaan, kuinka moni henkilöstöstä on suorittanut ISIN:n (International Society of Intraoperative Neurophysiology) kolmiportaisen IOM-pätevyyden, kolmella (3) vaikuttaisi olevan täysi sertifikaatti. ISIN:n kurseista "*Brainstem and peripheral nervous system neurophysiological monitoring*" -pätevyyden on saanut yhteensä 14 henkilöä, "*Spinal cord monitoring*" -pätevyyden kuusi (6) ja "*Brain monitoring*" -pätevyyden neljä (4) henkilöä. Tarkentavana kommenttina tuotiin esiin, että vuonna 2010 kurssi oli toteutettu siten, että samassa symposiumissa käsiteltiin sekä aivorunkotason että selkäytimen leikkausvalvontaa ja jonkin verran myös aivoleikkausvalvontaa.

Kysyttäessä onko leikkausvalvontojen määrä sairaalassanne riittävä ammattitaidon kehittymisen ja ylläpitämisen näkökulmasta, vastaajat olivat pääsääntöisesti sitä mieltä, että leikkaus-

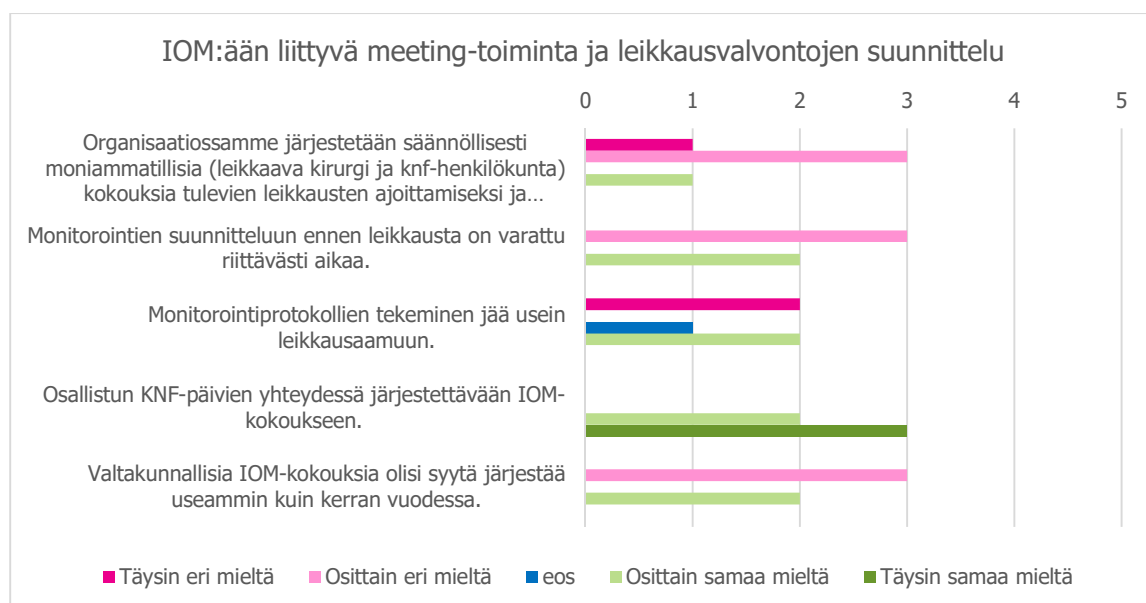
valvontojen määrä ei ole riittävä. Vastaajat kokivat, että varsinkin haastavien ja harvinaisempien leikkausvalvontojen osalta kokemusta kertyy eri monitoroijille hitaasti. Ongelmana nähtiin myös, että menetelmäkehitykselle ja perehtymiselle ei ole riittävästi aikaa.



KUVIO 9. Neurofysiologisten leikkausvalvontojen kansainvälisiä suosituksia ja kannanottoja koskevan kysymyksen vastaukset.

Suosituksia ja ohjeistuksia koskevaan kysymykseen (kuvio 9) kaikki viisi (5) vastaajaa vastasivat tutustuneensa kansainvälisiin kannanottoihin ja suosituksiin, ja kokivat ne tarpeellisiksi. Kansainvälisiin kannanottoihin ja suosituksiin tutustuminen kuuluu yhtenä osana perehdytysuunnitelmaa kahdessa (2) yksikössä. Yksi (1) vastaaja oli osittain eri mieltä kyseisen väittämän kanssa. Neljä (4) viidestä vastaajasta oli väittämän *"Suomessa tulisi noudattaa kansainvälisiä IOM-suosituksia ja -kannanottoja"* kanssa *samaa mieltä* ja yksi (1) vastaaja oli *osittain eri mieltä*. *"Suomessa tulisi olla omat IOM-suositukset"* -väittämän kanssa *samaa mieltä* oli kolme (3) vastaajaa ja yksi (1) vastaaja oli *osittain eri mieltä*.

Meeting-toimintaa ja leikkausvalvontojen suunnittelua koskevissa kysymyksissä tiedusteltiin, järjestetäänkö vastaajien organisaatiossa säännöllisesti moniammatillisia (leikkaava kirurgi ja KNF-henkilökunta) kokouksia tulevien leikkausten ajoittamiseksi ja suunnittelemiseksi (kuvio 10). Tämän väittämän kanssa eri mieltä oli neljä (4) viidestä vastaajasta ja yksi (1) vastaajasta oli *osittain samaa mieltä*. Leikkausvalvontojen suunnitteluun ennen leikkausta varataan riittävästi aikaa kahdessa (2) yksikössä. Kolme (3) vastaajasta oli väittämän kanssa *osittain eri mieltä*.



KUVIO 10. Neurofysiologisiin leikkausvalvontoihin liittyvä meeting-toiminta ja leikkausvalvontojen suunnittelu.

"Leikkausvalvontaprotokollien tekeminen jää usein leikkausaamuun" -väittämään saadut vastaukset kertovat, että kahdessa (2) yksikössä leikkausvalvontaprotokollat ovat suunniteltuna leikkausaamuna, mutta kahden (2) muun vastauksen perusteella protokollat eivät välttämättä ole valmiina. Vastausten perusteella kaikki viisi vastaajaa osallistuvat KNF-päivien yhteydessä järjestettävään IOM-työryhmän kokoukseen. Vastaajista kaksi (2) oli *osittain samaa mieltä* siitä, että valtakunnallisia IOM-kokouksia olisi syytä järjestää useammin kuin kerran vuodessa, mutta kolme (3) vastaajista oli väittämän kanssa *osittain eri mieltä*.

6.6 Laitteistot, materiaalit ja potilasturvallisuus

Seuraavassa osiossa esitettiin kysymyksiä koskien IOM-laitteistoja, elektrodimateriaaleja ja potilasturvallisuutta. Ensimmäiseksi haluttiin tietää, millainen laitekanta kussakin yksikössä on: mitä laitteistoja yksiköissä on, minä vuonna laitteet on hankittu ja kuinka monta laitetta yksiköissä on leikkausvalvontakäytössä. Leikkausvalvontalaitteistoina on *Cadwell Cascade*, *Inomed ISIS*, *Inomed Nemo*, *Inomed portable* ja *TWIN Telefactor*. Laitteistojen lukumäärät vaihtelevat yksiköstä riippuen yhdestä kuuteen. Parhaimmillaan monitoroinneissa voidaan kahdessa (2) yksikössä hyödyntää laitteistoa, jossa on 25–32 kanavaa ja kolmessa (3) yksikössä 33 kanavaa tai enemmän.

Vastaajia pyydettiin merkitsemään eri tutkimusten kohdalle, millaisia stimulaatio- ja rekisteröintielektrodeja yksiköissä käytetään leikkausvalvontojen toteutuksessa. Rekisteröinti- ja stimulointielektrodeina käytetään pitkälti saman tyyppisiä elektrodeja. EEG- ja VEP-rekisteröinneissä sekä MEP-stimulaatiossa yleisimmin käytettyjä elektrodeja ovat niin sanotut *twisted pair* -neulaelektrodit, korkkiruuvi- tai strip/grid-elektrodit. EMG- ja MEP-vasteiden

rekisteröinnissä useimmin käytetään twisted pair -neulaelektrodeja, tarraelektrodeja, hopealankoja tai teräslankoja. SEP:n stimulaatiossa ja rekisteröinnissä sekä MEP:n fasilitaatiossa käytössä on twisted pair -neulaelektrodit ja tarrat, SEP:n rekisteröinnissä lisäksi korkkiruuvit. BAEP:a stimuloidaan korvakäytävä- eli tiptrode-elektrodeilla tai tympanum-elektrodeilla, ja rekisteröinti tapahtuu twisted pair -neulaelektrodeilla, korkkiruuveilla tai korvakäytävä-elektrodeilla. VEP-stimulaatioon käytetään led-stimulaattoria (goggles).

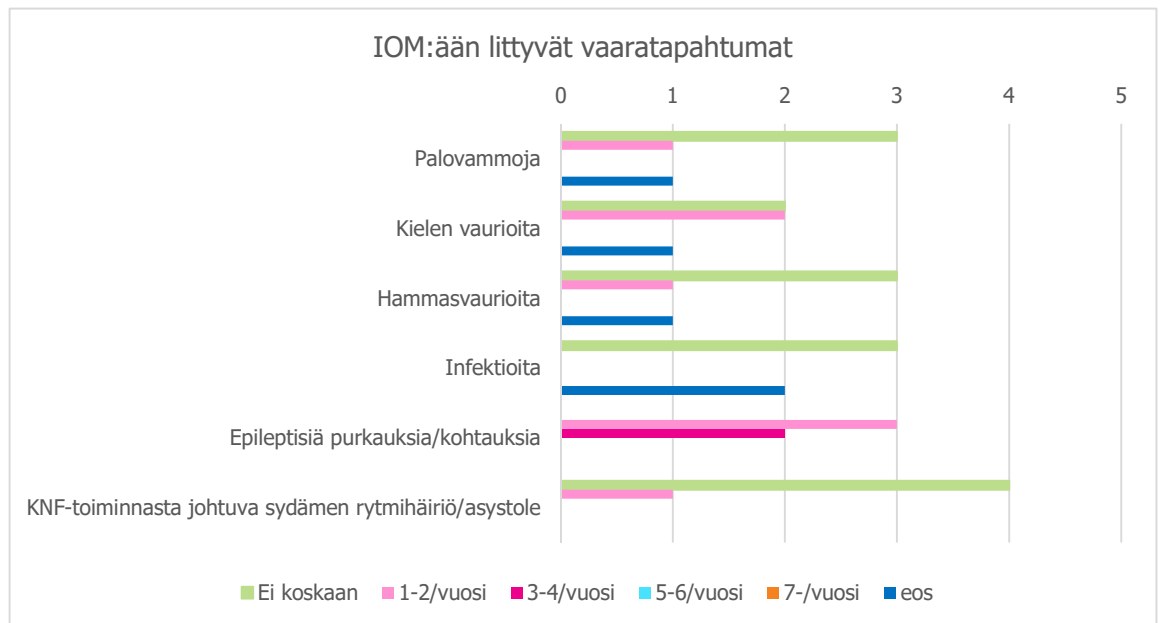
Edellisessä kysymyksessä mainittujen elektrodien lisäksi yksiköissä on muita monitoroinneissa käytettyjä stimulaatio- tai rekisteröintielektrodeja kuten mono- ja bipolaaristimulaatiokärjet, subdermaaliset neulaelektrodit, esitaitetut osin eristetyt twisted pair -neulaelektrodit ja D-aaltoelektrodit. Myös kortikaalista 4-apilaalektrodia ja 8-kanavaista subduraalista strip-elektrodia käytetään. Lisäksi vagus- ja recurrensrekisteröinneissä on käytössä elektrodi, joka on kiinnitetty intubaatioputkeen.

Seuraavaksi vastaajia pyydettiin kuvaamaan, miten elektrodien ja kaapeleiden kiinnipysyminen on turvattu potilaan siirron tai käynnön aikana. Elektrodien teippaus nousi avoimista vastauksista yleisimmäksi ja kaikki viisi vastaajaa mainitsivat sen olevan hyväksi havaittu keino turvaamaan elektrodien ja kaapeleiden kiinni pysyminen. Myös kaapeleiden niputuksen ja vedonestojen tekemisen on havaittu turvaavan elektrodien pysyminen paikoillaan koko toimenpiteen ajan. Tarkkuus elektrodien kiinnityksessä, potilaan käynnön tai asennon vaihdon aikana paikalla ja mukana oleminen sekä varomattomasta käsittelystä varoittaminen ennaltaehkäisevät elektrodien irtoamista. Yksi vastaaja tarkensi, että johdot kiinnitetään esivahvistimiin vasta käynnön jälkeen. Korkkiruuvielektrodien käyttö tarvittaessa mainittiin myös yhdessä vastauksista.

Haluttiin myös tietää, millä keinoilla pyritään estämään potilaan kieleen pureminen ja hampaiden vahingoittuminen leikkauksen aikaisen MEP:n aikana. Nielutuubilla pyritään yleisimmin suojaamaan kieltä ja hampaita sähköärsykkeiden aiheuttamien lihassupistusten aikana. Myös ECT-hammaskiilaa on käytetty sekä intubaatioputkeen kiinnitettävää erillistä purusuoja. Erilaisia taitoksista tehtyjä pehmusteita on myös käytetty. Myös potilaan tilaa seurataan.

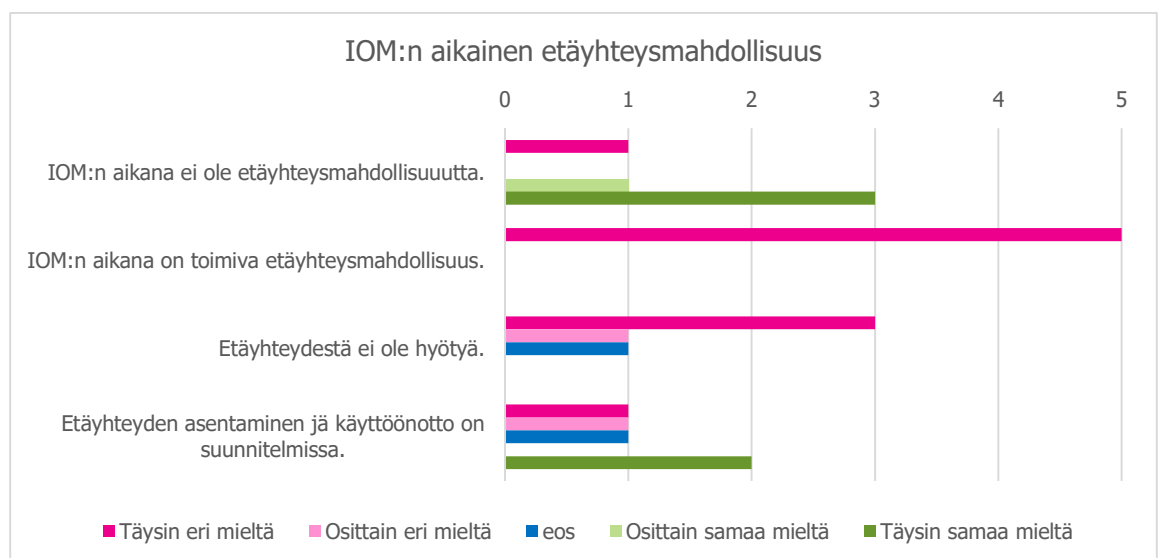
Lisäksi tiedusteltiin, onko leikkausvalvonnan aikana tai jälkeen, kliinisen neurofysiologian menetelmien ja käytäntöjen yhteydessä, potilaalla havaittu palovammoja, kielen tai hampaiden vaurioita, infektioita, epileptisiä purkauksia/kohtauksia tai sydämen rytmihäiriötä/asystolea (kuvio 11). Kolmessa (3) yksikössä ei ole koskaan havaittu palovammoja tai hammasvaurioita, yhdessä (1) yksikössä molempia 1–2/vuosi. Kielen vaurioita ei ole koskaan todettu kahdessa (2) yksikössä, mutta kahdessa (2) yksikössä 1–2/vuosi. Infektioita ei ole tullut kolmen (3) yksikön tietoon ja kaksi (2) vastaajaa ei osaa sanoa. Epileptiset kohtaukset/purkaukset ovat taas yleisempiä eli vastaajien mukaan kolmessa (3) yksikössä 1–2/vuosi ja kahdessa (2) yksikössä 3–4/vuosi. KNF-toiminnasta johtuvaa sydämen rytmihäiriötä/asystolea on yhdessä (1) yksikössä

ollut 1-2/vuosi, neljässä (4) yksikössä ei koskaan. Yksi vastaaja tarkensi, että ainakaan tietoon ei ole tullut komplikaatioita.



KUVIO 11. Leikkausvalvontojen aikana tai jälkeen havaittuja neurofysiologisten menetelmien ja käytäntöjen yhteydessä havaittuja komplikaatioita tai vaurioita.

Viimeiseksi kartoitettiin etäyhteyshmahdollisuuden käyttöä neurofysiologisen leikkausvalvonnan aikana (kuvio 12). Vain yhdessä (1) yksikössä on etäyhteyshmahdollisuus. Toimivaa etäyhteyttä ei kuitenkaan ole yhdessäkään yksikössä. Etäyhteys koetaan kuitenkin hyödylliseksi neljässä (4) yksikössä viidestä. Kahdessa (2) yksikössä etäyhteyden asentaminen ja käyttöönotto on suunnitelmassa, kahdessa (2) taas ei.



KUVIO 12. Neurofysiologisen leikkausvalvonnan aikaisen etäyhteyden käyttömahdollisuudet.

6.7 Nykytilanne ja tulevaisuus

Viimeiseksi kysyttiin nykytilannetta ja tulevaisuuden visioita leikkausvalvontoihin liittyen. Kysymyksellä kartoitettiin sitä, miten leikkausvalvonnat on tällä hetkellä hoidettu ja millainen työnjako yksiköissä on lääkärin ja hoitajan välillä leikkausvalvonnan valmistelun ja itse leikkausvalvonnan suhteen. Vastauksista ilmenee, että käytännöt vaihtelevat jonkin verran yksiköiden välillä.

Neljässä (4) yksikössä lääkäri suunnittelee leikkausvalvontaprotokollan, yhdessä (1) yksikössä tämä tehtävä kuuluu fyysikon toimenkuvaan. Kolmessa (3) yksikössä hoitaja on mukana alkuvalmisteluissa ja avustaa lääkäriä salissa. Hoitajan tehtäviin yksiköstä riippuen kuuluu muun muassa tarvikkeista huolehtiminen ja laitteen tuominen saliin sekä kaapeleiden merkitseminen. Yhdessä (1) yksikössä hoitaja aloittaa leikkausvalvonnan. Yksi (1) vastaaja kertoo, että hoitaja kiinnittää elektrodit pään alueelle ja lääkäri asettaa muut. Myös anestesiaalääkäri on tarvittaessa ollut apuna, kun elektrodeja on laitettu kitalakeen n. glossopharyngeuksen hermottamien lihasten leikkausvalvontaa varten. Kolmessa (3) yksikössä ainoastaan lääkäri monitoroi, mutta vastausten perusteella yhdessä (1) yksikössä toimitaan lääkäri-hoitaja -parina esimerkiksi selkäoperaatioissa ja aivostimulaatioissa koko leikkauksen ajan. Yksi (1) vastaaja kirjoittaa, että akustikus- ja takakuoppakirurgiamonitoroinneissa hoitaja monitoroi, mutta lääkäri on mukana ensimmäisten vasteiden mittaamiseen asti ja toisessa yksikössä taas fyysikko on tarvittaessa mukana leikkausvalvonnan aloitusvaiheessa. Yhdessä (1) yksikössä sekä lääkäri että hoitaja monitoroivat.

Tulevaisuuden tarpeina kaikki vastaajat näkivät, että hoitajan roolin kasvattaminen leikkausvalvontojen toteutuksessa, kuten torakaalisen skolioosikirurgian aikana, olisi tarpeen. Lääkäri olisi tällöin etäyhteyden päässä tai puhelimitse tavoitettavissa. Tiedostettiin myös, että leikkausvalvontojen kysyntä on lisääntymässä ja henkilöstöä olisi hyvä saada lisää, mutta hoitajien rekrytoiminen ei näyttäisi olevan realistinen vaihtoehto lähitulevaisuudessa. Etäleikkausvalvonnan mahdollisuus nostettiin myös esille. Lisäksi todettiin, että vaskulaarikirurgiassa voitaisiin hyödyntää leikkausvalvontaa nykyistä enemmän.

Vastaajia pyydettiin selvittämään leikkausvalvontojen määrää tällä hetkellä (vuodessa). Lisäksi pyydettiin arvioiman prosentteina (mikäli tämän hetkisten monitorointien määrä kuvataan 100 %), mikä oli leikkausvalvontojen määrä kymmenen vuotta sitten sekä kymmenen vuoden päästä tästä. Vastausten perusteella leikkausvalvontojen määrät vaihtelevat yksiköstä riippuen 20 monitoroinnista lähes 150 leikkausvalvontaan vuodessa. Kymmenen vuotta sitten valvontoja on viiden yksikön toimesta tehty 10–80 % vähemmän kuin tällä hetkellä. Tulevaisuudessa eli kymmenen vuoden kuluttua leikkausvalvontojen määrä tulee lisääntymään vastaajien arvion mukaan 10–100 % tämän hetkiseen tilanteeseen verrattuna.

Kyselyllä kartoitettiin vielä, hyödynnetäänkö organisaatioissa neurofysiologisia valvontoja muussa kirurgiassa kuin kyselyn esimerkkitapausten kaltaisten operaatioiden yhteydessä. Epilepsiakirurgia lienee tunnetuin leikkausvalvontaa hyödyntävä leikkaus. Selkäydinkirurgiassa, kuten tuumorin poistossa conuksen tai caudan alueelta tai liekaantuneen selkäytimen vapautusleikkauksessa, on leikkausvalvonta ollut apuna. Myös aikuisten ortopedisissa deformiteettileikkauksissa on ollut hermojuurten toiminnan spinaalimonitorointi mukana. Lisäksi selkäytimen AV-malformaatioiden sekä esimerkiksi selkärangan katkaisu- ja kääntöleikkauksissa on leikkausvalvonta käytössä. Spastisiteettikirurgiassa perifeeristen hermojen leikkausvalvonta mainitaan yhtenä käyttökohteena. Aivorunkokirurgisten toimenpiteiden aikana on leikkausvalvontaa myös hyödynnetty. Sydän- ja verisuonikirurgisiin aorttaproteesileikkauksiin sekä neurokirurgisiin hemifasialispasmi- ja hermokasvainleikkauksiin on haluttu neurofysiologinen leikkausvalvonta mukaan. Yksittäisissä aivorunkobiopsioissa, kilpirauhasleikkauksissa sekä korvan alueen leikkauksissa on myös hyödynnetty neurofysiologista leikkausvalvontaosamasta. Aivokasvainkirurgiassa tuntoaivokuoren tai puhealueen stimuloinnissa valvekraniotomian aikana on käytetty neurofysiologista leikkausvalvontaa.

Vielä viimeiseksi kysyttiin, tehdäänkö organisaatioissa syväaivostimulaattori (Deep brain stimulator, DBS) -asennuksia tai muita kajoavia toimenpiteitä. Haluttiin myös tietää millaisia toimenpiteitä ja millä henkilöstöllä. DBS-asennuksia tehdään kaikissa viidessä organisaatiossa, mutta erilaisilla henkilöstökokoonpanoilla. Neurokirurgian henkilöstön lisäksi kolmessa organisaatiossa hyödynnetään neurofysiologian yksikön fyysikoita. Yhdessä yksikössä fyysikon lisäksi salissa on myös kliinisen neurofysiologian erikoislääkäri. Yhdessä yksikössä on suunnitteilla neurofysiologian lääkäreiden tai fyysikoiden osallistuminen toimenpiteeseen. Lisäksi on tehty DBS-asennus vaikean epilepsian hoitamiseksi, mutta tässä ei ole neurofysiologista leikkausvalvontaa ollut apuna. SCS (Spinal cord stimulator) - ja DCS (Dorsal column stimulator) -asennuksia tehdään niin ikään ilman neurofysiologista leikkausvalvontaa.

7 TULOSTEN POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

7.1 Tutkimuksen eettisyys ja luotettavuuden arviointi

Tutkimuseettinen neuvottelukunta on yhteistyössä suomalaisen tiedeyhteisön kanssa laatinut tutkimuseettisen ohjeistuksen, joka on perustana kaikelle Suomessa tapahtuvalle tutkimustyölle. Ohjeistuksen tavoitteena on tutkimusorganisaatioiden, kuten ammattikorkeakoulujen ja yliopistojen, ohjaaman tutkimustyön hyvän tieteellisen käytännön edistäminen ja epärehellisyyden ennaltaehkäiseminen. (TENK 2012, 4.)

Tiedonkeruumenetelmänä kyselytutkimuksen tekeminen verkkolomakkeen avulla on yleistynyt, sillä se on helppoa, nopeaa ja halpaa verrattuna esimerkiksi perinteisiin postikyselyihin. (Kananen

2014, 14; 50; 156). Vastausten tallentuminen suoraan sähköiseen muotoon nopeuttaa aineiston käsittelyä ja vähentää virheiden mahdollisuutta (Kananen 2014, 156; Vehkalahti 2014, 48). Kyselytutkimuksen laatimiseen liittyy kuitenkin monia epävarmuustekijöitä ja haasteita. Mitattavat seikat voivat muuttua tai ilmetä eri tavoin erilaisissa ympäristöissä. Tiedonkeruuseen liittyen voidaan pohtia, mikä ajankohta olisi paras kyselyn lähettämiseksi sekä onko valittu sopiva tiedonkeruumenetelmä ja luotettava mittari. Osa haasteista liittyy kyselytutkimuksen sisältöön eli kenelle kyselytutkimus suunnataan, saadaanko siten riittävästi vastauksia ja vastataanko kysymyksiin kattavasti. (Vehkalahti 2014, 17, 20.) Verkkokysely taas ei välttämättä tavoita kaikkia, vastaaminen verkossa voidaan kokea vaikeaksi tai podetaan vastausväsymystä, mitkä seikat taas vähentävät tutkimuksen luotettavuutta (Kananen 2014, 156; Vehkalahti 2014, 48).

Kvantitatiiviseen tutkimukseen liittyvässä kyselylomakkeessa voi olla strukturoituja tai avoimia kysymyksiä. Vastausten luotettavuuteen vaikuttavat niin kysymysteksti kuin vastausvaihtoehdotkin. Kysymysten tulisi olla yleiskielellä kirjoitettuja, lyhyitä ja yksiselitteisiä. Kysymys ei saa johdatella eikä sisältää useita eri kysymyksiä. (Kananen 2014, 143.) Kun mietitään vastausvaihtoehtoja, tulisi huomioida, että vaihtoehdot eivät saisi sulkea toisiaan pois. Vaihtoehtojen tulisi olla kattavia ja niiden esitystapaa tulisi myös pohtia. (Kananen 2014, 144.) Strukturoiduilla kysymyksillä pyritään selkeyttämään, mutta toisaalta myös rajaamaan vastausvaihtoehtoja. Näin myös tietojen analysointi helpottuu. (Vehkalahti 2014, 25.) Avoimet kysymykset antavat mahdollisuuden täydentävien vastausten antamiseen (Vehkalahti 2014, 13).

Määrällisen tutkimuksen luotettavuutta voidaan tarkastella käsitteiden, kuten valideetti ja reliabiliteetti, avulla. Tutkimuksen valideetti eli pätevyys liittyy oikeiden mittareiden valintaan. Validi tutkimus mittaa oikeaa asiaa eli käsite kuvastaa tutkimuksen osuvuutta. Tutkimustulokset ovat valideja, kun on käytetty oikeaa tutkimusmenetelmää, mitattu tarkalla mittarilla ja tulkittu aineistoa oikein. Tutkimusasetelmaa ja tulosten analyysia voidaan tarkastella erilaisten valideetin alalajien avulla. (Kananen 2014, 262 - 264.) Vehkalahti (2014) mukaan tutkimuksen luotettavuuden kannalta on tärkeää kiinnittää valideettiin huomiota, sillä reliabiliteetinkin merkitys vähenee, jos alun perin ei ole mitattu oikeaa asiaa (Vehkalahti 2014, 41; 116). Reliabiliteetti tarkoittaa tutkimustulosten pysyvyyttä, stabiliteettia. Eli jos tutkimus toistetaan, saadaan samat tulokset (Kananen 2014, 261). Tutkimuksen onnistuminen eli tutkimustulosten luotettavuus ja pätevyys riippuvat siitä, onko mitattu sitä, mitä oli tarkoitus mitata (Vilkkä 2007, 44).

Tämän opinnäytetyön kirjoittamisessa huomioitiin Tutkimuseettisen tiedekunnan tutkimuseettiset periaatteet (TENK 2012, 6) ja noudatettiin niiden mukaisesti rehellisyyttä, huolellisuutta ja tarkkuutta. Tulokset käsiteltiin, esiteltiin ja arvioitiin näitä toimintatapoja noudattaen. Tiedonhankintamenetelmät olivat tieteellisen tutkimuksen kriteerien mukaisia ja tutkimus- sekä arviointimenetelmät olivat eettisesti kestäviä. Kyselyn tulosten julkaisu oli vastuullista ja avointa.

Raportointi tapahtui tieteelliselle tiedolle asetettujen vaatimusten edellyttämällä tavalla. Aineisto tallennettiin näitä samoja periaatteita noudattaen.

Opinnäytetyötä varten anottiin tutkimuslupa hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen tutkimuskohteena olevilta organisaatioilta ja yksiköiltä. Tutkimusluvut saatiin aikavälillä 2.–30.1.2017. Tutkimuslupa tarvittiin opinnäytetyöhön liittyvän kyselyn lähettämistä varten. Kyselyn mukana lähetettiin myös saatekirje, jossa pyrittiin antamaan tietoa tutkimuksesta ja näin edistämään vastaamismyönteisyyttä. Saatekirjeessä korostettiin, että kyselyyn vastaaminen oli vapaaehtoista ja luottamuksellista ja että vastaukset tultsi käsittelemään tilastollisin menetelmin nimettöminä, eivätkä vastaajien tai yliopistollisten sairaaloiden tiedot tulisi erottumaan tuloksissa. Saatekirjeen lopussa oli myös yhteystiedot. Kyselylomake ja saatekirje liitettiin tutkimussuunnitelman liitteinä tutkimuslupahakemuksiin.

Opinnäytetyön tekijä työskentelee Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin Tyks-Sapa-liikelaitoksen (nykyisen Kuvantamisen toimialueen) kliinisen neurofysiologian yksikössä ja on ollut mukana avustamassa leikkausvalvontojen aloituksissa. Kysely laadittiin yhdessä TYKS:n kliinisen neurofysiologian erikoislääkärin kanssa, jolla on vankka kokemus leikkausvalvonnoista. Myös Tyks-Sapa-liikelaitoksen KNF-yksikön leikkausvalvontojen menetelmävastaava erikoislääkäri vastasi kyselyyn omalta osaltaan, sillä jokainen vastaus oli merkityksellinen. Nämä sidonnaisuudet eivät vaikuttaneet kyselylomakkeen laadintaan tai aineiston käsittelyyn, vaan kyselylomakkeen laadinta, tulosten analysointi ja raportointi tapahtuivat objektiivisesti ja hyvän tieteellisen käytännön mukaisesti.

Kyselylomakkeen pohjaksi ei ollut valmista mallia vaan kyselyn hahmottelu alkoi teorian tiedon pohjalta, artikkeleihin, suosituksiin ja kannanottoihin huolellisesti perehtyen. Tapausselostukset ohjasivat kyselylomakkeen laatimista. Luotettavuutta lisäsi kliinisen neurofysiologian erikoislääkärin asiantuntija-apu tapausselostusten laatimisessa. Myös opinnäytetyöntekijän oma kokemus leikkausvalvonnoista auttoi asiakokonaisuuden sisäistämisessä ja kysymysten suunnittelussa. Kyselylomakkeeseen saatiin koottua kattavasti kysymyksiä kolmen eri kirurgiatyyppin monitoroinnista kerättyyn teoriaan pohjautuen, mutta myös esimerkiksi laadunvarmistukseen, perehdytykseen ja tulevaisuuden näkymiin liittyen. Asiantuntija-arviointi toteutui erikoislääkärin arvioidessa valmista kyselyä ja sen luotettavuutta. Saatujen vastausten perusteella voitiin toteuttaa vertailu kansainvälisiin suosituksiin, kannanottoihin ja katsauksiin. Kokonaisuudessaan kyselylomakkeesta tuli toimiva ja tulokset olivat valideja.

Tähän opinnäytetyöhön liittyvässä kyselyssä käytetyt tapausselostukset eivät olleet täysin tyhjentäviä eikä yhtä oikeaa vastausvaihtoehtoa ole olemassa. Tapausselostuksiin liittyvät kysymystekstit pyrittiin kuitenkin kirjoittamaan mahdollisimman yksiselitteisesti ja samaa kaavaa noudattaen. Aihealueen laajuudesta johtuen oli vastausvaihtoehtoihin tehtävä keinotekoisiaakin ryhmittelyjä. Lisäksi vastausvaihtoehtoja muokattiin useaan kertaan ennen kuin käytettyihin

vaihtoehtoihin päädyttiin. On mahdollista, että vastaamiseen vaikutti tapausselostusten ja vastausvaihtoehtojen erilainen tulkinta. Opinnäytetyöntekijälle ei kuitenkaan osoitettu näihin kohdistuneita kyselyjä, joten voidaan olettaa, että tapausselostukset ja vastausvaihtoehdot olivat ymmärrettäviä ja yksiselitteisiä. Kysymykseen *6.2 Rekisteröinti- ja stimulointielektrodit* olisi pitänyt lisätä yksi vaihtoehto niille, jotka eivät jotain menetelmää käytä ollenkaan, sillä nyt käytetty kysymystyyppi pakotti vastaamaan kaikkiin kohtiin. Avoin vastauskenttä kyseisen kysymyksen jälkeen mahdollisti kuitenkin tarkennuksen asiaan. Avoimia vastauskenttiä hyödynnettiin muutenkin kiitettävästi ja vaikutelmaksi jäi, että kaikki vastaajat olivat motivoituneita vastaamaan ja kertomaan oman organisaationsa käytännöistä. Koska kysymyksiä oli paljon ja kyselyyn vastattiin oletettavasti virka-aikana muiden töiden lomassa, annettiin vastaajille mahdollisuus keskeyttää vastaaminen ja jatkaa taas sopivana ajankohtana. Tämä mahdollisesti lisäsi vastaamismyönteisyyttä. Kyselyn loppuun olisi voinut laittaa vastauskentän kyselyn kokonaisarviolle.

Monivalintakysymykset, joissa oli viisi vaihtoehtoa, päädyttiin raportoinnin selkeyttämisen vuoksi ryhmittelemään Tuloksissa siten, että *Täysin eri mieltä* ja *Osittain eri mieltä* käsitellään yhtenä ryhmänä ja *Täysin samaa mieltä* ja *Osittain samaa mieltä* yhtenä ryhmänä. *Ei osaa sanoa* -vastaukset huomioitiin myös. Vastaukset, jotka saatiin avoimiin kysymyksiin, antoivat lisäinformaatiota IOM-käytännöistä ja ne kirjoitettiin auki Tuloksiin.

Tämän opinnäytetyöhön liittyvän kyselyn heikkoutena on pieni otoskoko. Koko valvontoihin osallistuvaa henkilöstöä koskien tutkimustulokset eivät ole välttämättä yleistettävissä. Toisaalta ei tiedetä, kuka vastaukset on antanut – leikkausvalvonnoista vastuussa oleva vai joku hänen valtuuttamansa henkilö – vaikka ohjeistus vastaajia koskien annettiinkin. Oletuksena kuitenkin oli, että vastaajat olivat leikkausvalvontojen vastuuhenkilöitä ja alansa asiantuntijoita, mikä taas lisää luotettavuutta. Kyselyn tavoitteena oli saada tietoa organisaatiotasolla ja siinä onnistuttiin. Tässä suhteessa kyselytutkimus oli validi eli vastasi tutkimuskysymyksiin ja reliaabeli eli luotettava.

Aineisto ei pienen vastaajamäärän vuoksi soveltunut tilastollisiin analyysihin eikä tunnuslukujen laskemiseen. Kyselyn strukturoitu osuus analysoitiin soveltuvien osien, vaikka luotettavien johtopäätösten tekeminen tilastollisin menetelmin olikin mahdotonta. Tämän kyselytutkimuksen reliabiliteettia eli toistettavuutta arvioitaessa voidaan todeta, että toistettaessa sama kysely samoille henkilöille vuoden kuluessa, tulos olisi luultavimmin samanlainen. Reliabiliteettia voi toisaalta heikentää muun muassa uusien menetelmien käyttöönotto lyhyellä aikavälillä. Tällöin osaan kysymyksistä voitaisiin vastata eri näkökulmasta. Tämä ei kuitenkaan ole kovin todennäköistä, sillä perusmenetelmät ovat vakiintuneita, ja näyttöön perustuvaa tietoa, kuten suosituksia, päivitetään harvoin.

Lähteiden valinnassa huomattiin, että ANSM:n kotisivuilla julkaistu kannanotto leikkauksen aikaisen BAEP:n monitoroimiseksi on uudempi (2012) kuin tässä opinnäytetyössä käytetty lähde (2008). Näitä kahta lähdettä verrattiin keskenään eikä merkittäviä eroavaisuuksia huomattu. Vanhempaa lähdettä päädyttiin käyttämään, jotta voitiin hyödyntää sivujen numerointi lähdemerkinnöissä luotettavuuden lisäämiseksi.

7.2 Tulosten tarkastelu

Kyselystä saaduista tuloksista käy ilmi, että neurofysiologisten leikkausvalvontojen kansainvälisiin suosituksiin ja kannanottoihin on kaikissa yksiköissä jossain määrin tutustuttu. Voidaan kuitenkin todeta, että leikkausvalvontojen toteutus vaihtelee eri yliopistollisissa sairaaloissa sekä toisiinsa verrattuna että suhteessa suosituksiin ja kannanottoihin. Britanniassa toteutettiin selkärankakirurgiaa koskevaan auditointiin ja ANS/BSCN:n (2012) laatimien standardien ja suositusten noudattamiseen liittyvä kansallinen kysely vuonna 2016. Vastausten perusteella ANS/BSCN:n standardeja noudatti enemmistö (16/25) vastaajista, kun taas sekä standardeja että suosituksia noudatti selkeästi vähemmistö vastaajista (6/25). (Grover 2016.) Kyselyn tulosten perusteella käytäntö Suomessa vaikuttaa olevan saman suuntainen. Kirjattuja käytäntöjä, ohjeita tai suosituksia ei kuitenkaan ole. Tulisiko myös Suomessa laatia IOM-standardit, joiden noudattaminen on vähimmäisvaatimuksena ja suositukset taas harkinnanvaraisia käytäntöjä standardien lisänä? Britannian kyselyn tulosten valossa voidaankin pohtia, miten suositukset tulisi laatia, jotta niiden noudattaminen olisi luontevaa ja niistä tulisi osa leikkausvalvontakäytäntöjä. Suomessa ei kuitenkaan ole instanssia, joka tällaisia suosituksia laatisi. Erikoisalayhdistyksen perustaminen voisi olla yhtenä ratkaisuna tähän.

Suosituksissa ja kannanotoissa korostuu lääkärin rooli, mutta toisaalta niissä on eroteltu asiantuntijatasen ja teknisen tason leikkausvalvontavastuut. ASNM suosittelee asiantuntijatasen ja teknisen tason IOM-pätevöitymistä, joista jälkimmäinen on suunnattu bioanalytikoille/laboratoriohoitajille. Valvontoihin osallistuvan henkilöstön koulutustausta vaihtelee Suomessa. Tilannetta voi selittää se, että eri organisaatioissa ja kliinisen neurofysiologian yksiköissä henkilöstöä on lähtökohtaisesti resursoitu eri tavoin. Yksiköiden erikoistuminen tiettyihin kliinisen neurofysiologian osa-alueisiin asettaa vaatimuksia henkilöstön ja osaamisen suhteen. Leikkausvalvonnat ovat vain osa kliinisen neurofysiologian tutkimuskokonaisuuksista eikä ole tarkoituksenmukaista tai mahdollistakaan, että kaikki perehdytetään syvällisesti kaikkiin eri KNF-menetelmiin. Leikkausvalvonnat voidaan kokea esimerkiksi hoitohenkilöstön näkökulmasta varsin haasteellisiksi ja vastuullisiksi, mikä saattaa olla esteenä valvonnoista kiinnostumiselle ja niihin perehtymiselle. Tilannetta ei helpota se, että varsinaisia neurofysiologisten leikkausvalvontojen syventäviä opintoja ei hoitohenkilöstölle ole Suomessa tarjolla. Tiedetyt yhdistykset Yhdysvalloissa myöntävät näitä pätevyityksiä ja sertifikaatteja. (Toleikis 2010, Leppanen 2005.) Suomessa tämän kaltaista järjestelmää ei ole, koska maassamme vastuu IOM-toiminnasta on kliinisellä neurofysiologialla, joka on itsenäinen lääketieteen erikoisala EU:ssa ja Suomessa, toisin kuin

esimerkiksi Yhdysvalloissa. IOM-perehdytys ja osaaminen kuuluvat Suomessa KNF-erikoislääkäreiden koulutukseen.

Kyselyn vastausten perusteella leikkausvalvontatarpeen arvioidaan jopa kaksinkertaistuvan seuraavien kymmenen vuoden aikana. Se tarkoittaisi monissa yksiköissä leikkausvalvontaa viikon jokaisena arkipäivänä. Tämän hetkiselä erikoislääkäriresurssilla leikkausvalvontojen toteuttaminen on tuskin mahdollista ja eläköityminen vie osan hiljaista tietoa mukanaan. Kaikissa tähän opinnäytetyöhön liittyvissä kohdeorganisaatioissa on suunnitelmissa hoitajan leikkausvalvontaroolin kasvattaminen esimerkiksi etäyhteyttä hyödyntämällä. Se ei kuitenkaan yksinään tuo helpotusta lääkäriresurssin vajeeseen, sillä suosituksissa ja kannanotoissa todetaan, että lääkäriellä on vastuu monitoroinnista ja hänen tulee olla tavoitettavissa tai välittömässä läheisyydessä leikkausvalvonnan aikana (Skinner ym. 2014; ACNS 2009a; Isley ym. 2009; ASET 2011; Cross ym. 1999). ASNM:n (Isley ym. 2009) kannanotossa todetaan jopa, että missään tilanteessa bioanalyytikko/laboratoriohoitaja ei saa olla päävastuussa leikkausvalvonnan tulkinasta. Etäyhteydessäkään lääkäri ei saisi sitoutua samanaikaisesti muihin klinisiin työtehtäviin, sillä IOM vaatii jatkuvaa huomiota (Skinner ym. 2014). Steckerin (2012) mukaan pätevä bioanalyytikko/laboratoriohoitaja voi monitoroida, mikäli lääkäri on etäyhteyden päässä ja reaaliaikaisesti käytettävissä. Leikkausvalvonnan tulkitsijan ja kirurgille annettavien ohjeiden antajan tulee kuitenkin olla itse leikkaussalissa. Skinner ym. (2014) korostavat, että kaksisuuntaisen audiovisuaalisen yhteyden on toimittava.

Tähän opinnäytetyöhön liittyvän kyselyn vastausten perusteella Suomessa tehtiin vuonna 2016 yhteensä hieman yli 400 monitorointia viidessä yliopistosairaalassa. Kansainvälisiin vaatimuksiin (Skinner ym. 2014; Stecker & Robertshaw 2006) verrattaessa monitorointimäärät tulee suhteuttaa väkilukuun, koska leikkausvalvontatarve eli potilasmäärä ja väkiluku ovat pienempiä Suomessa. Lisäksi osa leikkauksista on jo nyt keskitetty tiettyihin sairaaloihin. On myös huomioitava, että leikkausvalvontojen määrä yhtä monitoroijaa kohden on vielä pienempi. Laajempien ja erikoisempien leikkausvalvontojen lukumäärän ei koeta olevan riittävä ja kokemusta ja rutiinia karttuu hitaasti. Käytännön osaamistaan ei pääse kehittämään vähäisen leikkausvalvontamäärän vuoksi. Toisaalta keskitetysti tehtävät, leikkausvalvontaa vaativat operaatiot edistävät osaamisen kehittymistä ja vahvistumista.

Kyselyn tulosten mukaan perehtymiseen ja menetelmäkehitykseen ei koeta olevan riittävästi aikaa. Suosituksissa ja kannanotoissa koulutuksen, osaamisen ja kokemuksen tärkeyttä korostetaan ammattiryhmästä riippumatta (mm. MacDonald ym. 2013; ASET 2011; ACNS 2009a; Isley ym. 2009; Burke ym. 1999; Cross 1999). ASNM:n suosituksessa Skinner ym. (2014) toteavat, että myös laadunvarmistusmenetelmien kehittämiseen tulisi panostaa. Tyypillisimmin monitorointeihin perehtyminen tapahtuu leikkaussalissa, seuraamalla ja osallistumalla. Kirjallisuuteen ja suosituksiin perehtymiseen pitäisi myös olla aikaa. Osaamisen varmistaminen ei ole yksinkertaista, sillä monitoroitavien toimenpiteiden laajuus ja vaativuus vaihtelevat.

Peruseriaatteiden omaksuminen tulisi kuitenkin varmistaa jollain tavalla, esimerkiksi perehdytysuunnitelman ja vertaisarvioinnin avulla. Vähintään menetelmistä vastuussa olevien henkilöiden tulisi seurata alalla tapahtuvia muutoksia ja huolehtia, että uusin tieto saavuttaa kaikki yksikön monitoroinneissa mukana olevat henkilöt.

Kansainvälisessä aineistossa on raportoitu kielen, limakalvojen tai hampaiden vaurioita 0,2 %:sta (MacDonald 2002) 0,63 %:in (Tamkus & Rice 2012). Näihin aineistoihin verrattuna Suomessa on vuosittain paljon (0,75–1,5 %) kielen ja hampaiden vaurioita. Todellinen lukema voi olla suurempikin, jos syntyneet vauriot eivät edes tule kaikkien yksiköiden tietoon, sillä kyselyn perusteella vaikutelmaksi jää, että vaaratapahtumien seuranta tai raportointia ei kaikissa organisaatioissa ole. Mahdollista on myös, että poikkeamat eivät tule kliinisen neurofysiologian yksikön tietoon, mikäli niiden ajatellaan kuuluvan jonkin muun klinikan vastuulle. Näin voi olla esimerkiksi kielen ja hampaiden suojaamisen kohdalla, sillä sen ajatellaan liittyvän pikemminkin anestesiatiimin kuin KNF-tiimin velvollisuuksiin. Tosiasia kuitenkin on, että ilman leikkausvalvontaa ja MEP-tutkimusta tällaiset vauriot eivät olisi todennäköisiä leikkauksen jälkeen. Ilmenneet komplikaatiot tulisi saattaa aina myös KNF-yksikön tietoon, sillä kysymyksessä voi olla vakava ja pitkällistä hoitoa vaativa vaurio. Asianmukaisilla toimilla komplikaatiot ovat ehkäistävissä ja vaaratapahtumien systemaattista kirjaamista tulisi kehittää.

Preoperatiiviset KNF-tutkimukset eivät ole vakiintuneena käytäntönä suurimmassa osassa kyselyyn vastanneissa yksiköissä. Suosituksiin tai kannanottoihin ei säännönmukaisesti ole kirjattu ohjeistusta preoperatiivisten tutkimusten käytöstä. ACNS:n (2009a) suosituksen mukaan preoperatiiviset tutkimukset voisivat kuitenkin olla hyödyllisiä, mutta usein vaikeasti toteutettavissa. ANS/BSCN:n (Walsh ym. 2012) suosituksessa ohjeistetaan preoperatiivisen SEP:n rekisteröimiseen, ja Britanniassa tehdyn kyselyn (Sanders 2016) mukaan selkärankakirurgiaan liittyviä preoperatiivisia SEP-tutkimuksia ilmoittivat tekevänsä 43 % vastaajista aina. OSET:n (Cross ym. 1999) suosituksen mukaan preoperatiivinen BAEP tulisi rekisteröidä kirurgista toimenpidettä edeltävänä päivänä. Laboratorio-olosuhteissa, hereillä olevalta potilaalta preoperatiivisesti tehtyjä mittauksia ei voida suoraan verrata leikkaussaliolosuhteissa, nukutetulta potilaalta saataviin vasteisiin, vaan kaikki mittaukset arvioidaan aina juuri ennen toimenpiteen aloitusta saatuihin vasteisiin verrattuna. Näin ollen on ymmärrettävää, miksi preoperatiivisiin mittauksiin ei panosteta. Tutkimusten räätälöintiä ja prosessin sujuvuutta leikkaussalissa voitaisiin todennäköisesti parantaa preoperatiivisilla mittauksilla ainakin valituissa tapauksissa, mutta tutkimusten ajoittaminen välillä varsin nopeallakin aikataululla on haastavaa. Preoperatiiviset tutkimukset tarjoavat myös hyvän tilaisuuden kertoa potilaalle neurofysiologisen leikkausvalvonnan tavoitteista ja teknisestä toteuttamisesta. Suosituksissa ja kannanotoissa ei ollut mainintaa postoperatiivisten tutkimusten tekemisestä. Postoperatiivisen seurannan tärkeyttä korostettiin ASNM:n (2014) suosituksessa, mutta lähinnä tiedotuksen, palautteen ja laadunvarmistuksen näkökulmasta (Skinner ym. 2014). Postoperatiiviset tutkimukset ovat tärkeitä myös potilaan oikeuksien ja vakuutusturvan kannalta, koska esimerkiksi hoidosta

aiheutuneen hermovauriokivun samoin kuin lievempien ja osittaisten hermostovaurioiden diagnostiikka on kliinisesti vaikeaa.

Myös monitorointisuunnitelmissa on yleisesti ottaen vaihtelua organisaatiosta toiseen eikä suositusten tai kannanottojen noudattaminen ole johdonmukaista tai selkeästi käytäntönä missään kyselyyn vastanneessa yksikössä. Skolioosikirurgian leikkausvalvontakäytännöt vaihtelevat vähiten yksiköiden välillä sekä suhteessa suosituksiin ja kannanottoihin. EMG:tä/MEP:ä ja SEP:ä monitoroidaan alaraajoista suositusten (Walsh ym. 2012; ACNS 2009b) mukaisesti, sillä selkärankakirurgian yhteydessä suositellaan SEP:n monitoroimista MEP:n rinnalla. Multimodaalisen leikkausvalvonnan, jossa hyödynnetään MEP:n ja SEP:n lisäksi myös EMG:tä, on todettu vakiintuneen osaksi selkärankakirurgian leikkausvalvontamenettelyä (Toleikis 2015; Lall ym. 2012). Vastausten mukaan yläraajojen leikkausvalvontaa SEP:llä, MEP:llä tai EMG:llä hyödynnetään melko vähän. Kun verrataan Suomen ja Britannian käytäntöjä toisiinsa, ero on huomattava. Kontrollimittauksina Britanniassa on melkein poikkeuksetta yläraaja-SEP tai -MEP. Jopa puolet Britannian kyselyyn (Sanders 2016) vastanneista monitoroisi myös EEG:tä, kun taas Suomessa EEG kuuluu monitorointisuunnitelmaan vain harvassa yksikössä, vaikka tekninen mahdollisuus sen rekisteröimiseen olisikin. EEG on hyödyllinen anestesian syvyyden seurannan ja optimoimisen sekä teknisten ongelmien ratkaisun kannalta, jolloin myös väärin positiivisten hälytysten määrä vähenisi. Myös kontrollimieleessä rekisteröidyt yläraajojen vasteet auttaisivat esimerkiksi fysiologisten ja anestesiaan liittyvien muutosten havaitsemisessa.

Aivokasvainkirurgiassa leikkausvalvontamenetelmien valinta tehdään potilaskohtaisesti eikä takakuoppa- ja aivokasvainkirurgian suhteen ole samankaltaista standardoitua monitorointisuunnitelmaa tai suosituksia kuin selkärankakirurgian suhteen on. Spontaani-EMG:n on perinteisesti katsottu kuuluvan motoristen hermojen toiminnan rekisteröimiseen takakuoppakirurgian aikana, vaikka se ei ole yksinään luotettava menetelmä (Oh ym. 2012). Prellin (2016) ja Oh ym. (2012) mukaan erityisesti suoran sähköisen stimulaation käyttö olisi suotavaa hermojen anatomisen paikannuksen vuoksi. Suurin osa vastaajista rekisteröikin spontaani-EMG:tä kasvaimen puolelta tai molemmiin puolin kasvojen ja bulbaarialueen lihaksista. Myös triggered-EMG on enemmistöllä käytössä takakuoppakirurgian leikkausvalvonnan yhteydessä. Aivokasvainkirurgian aikana suurin osa yksiköistä monitoroi EMG:tä/MEP:ä yläraajoista. Hieman pienempi joukko monitoroi kyseisillä menetelmillä alaraajojen lihasten toimintaa tai kartoittaa liikeaivokuorta aivojen pinnalta stimuloimalla.

Multimodaalista leikkausvalvontaa (BAEP, MEP ja SEP) käyttämällä päästään onnistuneeseen lopputulokseen takakuopan ja aivorungon alueen kirurgisten toimenpiteiden aikana. (mm. Sala ym. 2002; Szelényi 2016). Kyselyn vastauksista ilmeni, että SEP:n leikkausvalvonta ei kuulu yhdenkään yksikön monitorointisuunnitelmaan takakuoppakirurgian yhteydessä ja aivokasvainkirurgian aikanakin SEP on käytössä vain yhdessä yksikössä. Kasvohermon hermottamien lihasten MEP:llä voidaan standarditekniikoiden lisäksi lisätä takakuoppakirurgiaan liittyvien toimenpiteiden

leikkausvalvontojen herkkyyttä (Bozinov ym. 2015; Dong ym. 2005; Sala ym. 2002). Prell (2016) suosittelee myös kortikobulbaarisen leikkausvalvonnan käyttöä takakuopan alueen kasvainten kirurgian aikana. Sala ym. (2002) toisaalta toteavat, että muutokset kurkunpään ja kielen lihasten EMG:ssä eivät välttämättä ennusta leikkauksen jälkeistä heikkoutta. Kyselystä saatujen vastausten mukaan MEP:n käyttö on vielä vähäistä takakuoppakirurgian aikana. Myöskin aivokasvainkirurgiaan liittyen kasvojen/bulbaarialueen ja hartiaseudun lihaksia monitoroi EMG:llä/MEP:llä vain pieni osa (2/5) vastaajista. Varsinkin kasvo- ja bulbaarialueen lihasten MEP:ien mittaaminen voidaan kokea haasteellisena tavanomaisesta poikkeavan stimulaatio-tekniikan (kontrollistimulus ennen sarjastimulusta) vuoksi.

Kyselyn vastausten mukaan kuulohermon toiminnan leikkausvalvontakäytännöt poikkeavat suosituksista ja kannanotoista (mm. Martin & Stecker 2008; ACNS 2009c). Mikäli kuuloa on jäljellä, olisi kuulohermon toimintaa tarkoituksenmukaista ja suositeltavaa monitoroida, mutta suurin osa suomalaisista yksiköistä (4/5) ei monitoroi kuulohermon toimintaa millään kyselyssä vaihtoehtoina olleilla menetelmillä. BAEP:a monitoroi vähemmistö vastaajista (2/5) takakuoppakirurgian aikana, mutta aivokasvainkirurgian yhteydessä ei kukaan. Avointen vastausten perusteella todettiin, että BAEP on harvoin informatiivinen. Oh ym. (2012) toteavatkin, että BAEP:n leikkausvalvonta, edes yhdistettynä cNAP:in tai ECOG:in rekisteröimiseen, ei takaa potilaan kuulon säilymistä. Riippuen kirurgisesta lähestymistavasta ja akustikus-neurinooman koosta, cNAP:n todetaankin olevan hyödyllisempi mittaus kuin BAEP ja antavan reaaliaikaista tietoa kuulohermon toiminnasta (Yamakami ym. 2008). Myös ASNM:n kannanotossa todetaan, että cNAP on herkin menetelmä kuulohermoon kohdistuvan vamman osoittamiseksi (Martin & Stecker 2008).

Avointen kysymysten vastauksissa tarkennettiin, että useampia leikkausvalvontamenetelmiä voidaan ottaa käyttöön, mikäli potilaan tilanne niin vaatii. Laitekanta, laitteistojen ja ohjelmistojen kapasiteetti voivat rajoittaa tiettyjen menetelmien käyttöä. Kyselyn vastausten perusteella laitteistot vaikuttaisivat olevan saman tasoisia. Myös tarvikkeiden saatavuus voi olla syynä toisten menetelmien vähäiselle käytölle. Erilaisia kaupallisia rekisteröinti- ja stimulointielektrodeja on saatavana monelta laitevalmistajalta ja maahantuojaalta, mutta olemassa olevaan laajaan tarjontaan perehtyminen vaatii myös panostusta ja aikaa. Organisaatioiden hankintamenettelyt koskien uusien elektrodityyppien käyttöönottoa, ovat usein työläitä, mikä taas hidastaa uusien menetelmien käyttöönottoa.

Neurofysiologinen leikkausvalvonta kehittyy voimakkaasti kaiken aikaa ja hakee muotoaan sekä kansainvälisesti että valtakunnallisestikin. Tietojen ylläpitäminen ja päivittäminen vaativat voimavaroja ja perehtymistä. Uusien menetelmien käyttöönotto vaatii tutkimusta, aikaa ja resursseja eikä suositusten laatiminen tapahdu hetkessä. Toimenpiteet suositusten laatimiseksi vaativat taakseen asiantuntevan joukon ihmisiä ja yhteisen päämäärän. Leikkausvalvontamenetelmät muovautuvat kuitenkin jatkuvasti käytännön tarpeita vastaaviksi. Uusien

menetelmien käyttöönotto tai käytössä olevien menetelmien muovaaminen vaatii myös moniammatillista keskustelua, jotta eri näkökulmat ja uusin tieto eri aloilta saadaan koottua yhteen.

7.3 Johtopäätökset

Suomen yliopistolliset sairaalat toteuttavat julkaistuja suosituksia ja kannanottoja vain osin. Kokonaisuudessaan voidaan todeta, että kaikissa organisaatioissa on mahdollisuus käyttää useita eri leikkausvalvontamenetelmiä. Laitteistojen kapasiteetti tai osaamisen puute ei vaikuta olevan esteenä kansainvälisten suositusten mukaiselle menetelmien käytölle. Kaikki vastaajat ovat myös tutustuneet kansainvälisiin suosituksiin ja kannanottoihin, mutta siitä huolimatta jokaisessa organisaatiossa leikkausvalvontakäytännöt eroavat niistä ainakin jossain määrin, joissain hyvinkin paljon. Yleisesti hyväksytyt yhtenäiset kansalliset ohjeistukset ja käytännöt puuttuvat, ja jokainen yksikkö tekee valvontoja omien käytänteidensä mukaan.

Kun verrattiin skolioosikirurgian aikaisen leikkausvalvonnan toteutumista, vastausten mukaan organisaatioiden välillä on melko vähän vaihtelua. Käytännöt vaikuttaisivat tässä toimenpiteessä olevan yhtenäisimmät, joskin kansainvälisiin suosituksiin ja kannanottoihin tai katsauksiin verrattuna menetelmien käyttö on osin suppeampaa Suomessa. Takakuoppakirurgiassa käytössä olevat leikkausvalvontamenetelmät ovat pääosin samoja kaikissa organisaatioissa, mutta suosituksiin ja kannanottoihin ja artikkeleihin verrattuna niiden käyttö on jälleen suppeampaa. Aivokasvaintekirurgian aikana käytännöt vaihtelevat jonkin verran eikä suosituksissa ja kannanotoissa tai katsauksissa kuvattuihin monitorointisuunnitelmiin ole pyritty.

Leikkausvalvontojen määrä on valtakunnallisella tasolla suhteellisen pieni, kun verrataan suuriin ulkomaalaisiin leikkaaviin sairaaloihin. Tällä hetkellä leikkausvalvontojen määrät vaihtelevat eri organisaatioissa alle kymmenestä valvonnasta yli 30 leikkausvalvontaan vuodessa erikoislääkäriä tai erikoistuvaa lääkäriä kohden. Tiettyjen toimenpiteiden valtakunnallisella keskittämällä vahvistettaisiin leikkausvalvontaosaamista sekä edistettäisiin monitorointikäytäntöjen kehittämistä ja vakiinnuttamista. Leikkausvalvontojen lukumäärän arvioitiin kuitenkin jopa kaksinkertaistuvan seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tulisi pohtia, riittävätkö klinisen neurofysiologian yksiköiden resurssit aikaa vievien leikkausvalvontojen kasvavan määrän toteuttamiseen. Tullaanko esimerkiksi kirurgeja kouluttamaan tiettyjen toimenpiteiden aikaisten neurofysiologisten signaalien tulkitsemiseen vai voidaanko bioanalyytikoiden/laboratorio- ja sairaanhoitajien järjestelmällisellä kouluttamisella ja tehtävänsiirroilla tai tehtävänsiirtoa laajentamalla tuoda helpotusta tilanteeseen. Toimivan etäyhteyden järjestäminen leikkaussaleista KNF-yksiköihin edesauttaisi mahdollisten tehtävänsiirtojen toteutumista. Ilman toimivaa etäyhteyttä tai klinisen neurofysiologin välitöntä konsultaatiomahdollisuutta, tulee erityisesti vastuukysymyksiä pohtia tehtävänsiirtoa suunniteltaessa.

Kyselyn tulosten perusteella organisaatioissa on eroja perehdytyksen toteutumisessa; miten erityisesti siinä yksiköissä, jossa perehdytysuunnitelmaa ei ole laadittu, huolehditaan henkilöstön riittävän järjestelmällisestä kouluttamisesta ja tarvittavan tiedon jakamisesta. Esimerkiksi vertaisarviointia voitaisiin hyödyntää perehdytyksenkin yhteydessä tai kokeneemman monitoroijan toiminnan arvioinnissa. Kansainvälisissä suosituksissa ja kannanotoissa on voimakkaasti korostettu IOM-henkilöstön pätevyyden tärkeyttä. Suomessa ei ole erillistä ammatillista IOM-pätevyyttä, mutta KNF-erikoislääkärillä tulisi olla IOM-valmius. Tämä vaatisi kuitenkin erikoistumiskoulutuksen pidentäminen nykyisestä viidestä vuodesta kuuteen vuoteen. Koulutuksen lisäämisellä ja syventämisellä sekä valtakunnallisella yhtenäistämällä voitaisiin edistää leikkausvalvontojen luotettavuutta ja laatua. Koska valtakunnallisesti ei ole riittävästi IOM-koulutusta tarjolla, koulutukseen hakeudutaan ulkomaille. Kansainvälisten kurssien, kuten ISIN:n kolmiportaisen kurssin suorittamiseen tulisikin kannustaa ja tukea muitakin IOM:än liittyviä kouluttautumispyrkimyksiä, henkilöstöryhmästä riippumatta.

Vaikka kysely oli vastuuhenkilöiden arvioon perustuva eikä tosiasiallinen seurantatutkimus, vaikuttaisi suun alueen komplikaatioita esiintyvän Suomessa hieman enemmän kuin kansainvälisissä aineistoissa. Nielutuubi on MEP:n vuoksi käytössä monessa yksikössä, vaikka suosituksissa, kannanotoissa ja artikkeleissa kehoitetaan sitä välttämään. Syynä voi olla vastuunjakoon liittyvä menettely. Leikkaussaliolosuhteissa ajatellaan anestesiatiimin huolehtivan potilaan asettelusta ja yleisvoinnista, mutta leikkausvalvontamenetelmiin liittyvien turvallisuusnäkökohtien huomioiminen on kuitenkin myös KNF-tiimin vastuulla. Leikkauksen aikaisten tapahtumien raportointi ja mahdollisten haitta- ja vaaratapahtumien kirjaaminen sekä potilaan toipumisen systemaattinen seuranta auttaisi mahdollisten tulevien komplikaatioiden estämisessä. Lisäksi koko maassa tulisi ottaa käyttöön suositusten mukaiset käytännöt näiden ehkäisemiseksi.

Kokemuksen ja osaamisen lisäksi tarvitaan aikaa perehtyä ainakin uusimpaan saatavissa olevaan tutkimusnäyttöön ja uusien menetelmien käyttöönottoon. Moniammatillinen yhteistyö kokoustoiminnan muodossa ei ole säännönmukaista eikä leikkausvalvontojen suunnitteluun ja perehtymiseen ole varattu riittävästi aikaa. On kuitenkin todettu, että tiimien välinen yhteistyö myös leikkaussalin ulkopuolella edesauttaa uusien monitorointitekniikoiden käyttöönottoa ja lisää tietoa uusista kliinisistä haasteista. Suomen tilanne voi kertoa resurssien riittämättömyydestä, se voi liittyä työnjohdollisiin seikkoihin tai henkilökohtaisiin mielenkiinnonkohteisiin. Moniammatillisten kokousten järjestäminen vaatii ponnisteluja ja tiimityön tärkeyden ymmärtämistä. Anestesiologin ja kirurgin perehtyneisyys leikkausvalvontojen mahdollisuuksiin sekä myönteinen asenne vaikuttavat myös leikkausvalvontakokonaisuuksien suunnitteluun ja toteutukseen. Säännöllisissä moniammatillisissa potilaskokouksissa olisi hyödyllistä saada palautetta aiemmista monitoroinneista potilaan toipumisen näkökulmasta, mutta myös laaduntarkkailun ja osaamisen kehittämisen kannalta.

Lähtökohtana omien kansallisten suositusten laatimiselle olisi kansainvälisiin suosituksiin ja kannanottoihin sekä uusimpaan tutkimusnäyttöön perehtyminen. Kansallisten suositusten laatiminen yhtenäistäisi käytäntöjä ja toisi ne lähemmäs kansainvälistä tasoa. Omien kansallisten suositusten laatiminen herättäisi keskustelua, kokemusten ja mielipiteiden vaihtoa, mikä olisi hyödyllistä ja palvelisi alan kehitystä.

Tämän opinnäytetyön yhteydessä toteutetun kyselyn vastausten perusteella jää monia avoimia kysymyksiä. Miten perehdytys ja koulutus toteutetaan tällä hetkellä tai miten niiden tulisi toteutua? Mitkä olivat perustelut menetelmävalinnoille tai miksi tietyt menetelmät eivät ole säännönmukaisesti käytössä tietyissä toimenpiteissä? Tämä kysely ei anna vastauksia siihen, miksi leikkausvalvontakäytännöissä on niinkin paljon vaihtelua tai miksi suosituksia ja kannanottoja ei järjestelmällisesti noudateta.

Jatkossa olisi mielenkiintoista tehdä laajempi suomalainen kartoitus, joka koskisi kaikkia leikkausvalvonnoissa mukana olevia henkilöitä, ammattiryhmään katsomatta. Olisi myös tärkeää selvittää esimerkiksi vastuuseen ja täydennyskoulutukseen liittyviä kysymyksiä. Näiden lisäksi olisi kiinnostavaa kartoittaa myös käytäntöjä koskien potilaan etukäteisinformointia, potilastietoihin tutustumista, potilaan postoperatiivisen toipumisen seuranta, laadunvalvontaa ja vaaratapahtumia. Dokumentoinnin ja raportoinnin eli muun muassa rekisteröintien jälkikäsitteilyn sekä lausuntokäytännöt ja hälytysrajat voisi myös sisällyttää tutkimukseen.

Selvityksen voisi rajata koskemaan ainoastaan esimerkiksi skolioosi- tai takakuoppakirurgiaa ja yleisluonteisten IOM-menetelmiä koskevien kysymysten lisäksi voitaisiin kysyä yksityiskohtaisemmin stimulaatio- ja rekisteröintiasetuksista sekä hälytyskriteereistä. Tällaisen kyselytutkimuksen tulokset voisivat toimia pohjana, jota hyödyntämällä esimerkiksi SKNFY:n IOM-työryhmä voisi aloittaa kansallisten IOM-suositusten laatimisen – moniammatillista keskustelua ja organisaatioiden välistä yhteistyötä unohtamatta. Mielenkiintoista olisi myös kartoittaa IOM-käytäntöjä esimerkiksi Pohjoismaissa, joissa on perinteisesti vahva KNF-osaaminen ja erikoisala.

7.4 Ammatillinen kehittyminen opinnäytetyöprosessin aikana

Ylempi AMK-tutkinto on työelämän osaamiseen ja sen kehittämiseen liittyvä tutkinto, jonka pääpaino on alan työelämän ongelmien ratkaisemisessa ja opinnäytetyössä. Opinnäytetyön teemat ovat lähtöisin työelämästä ja usein käytännön kehittämistarpeista. Kehittämisen valmiudet ja osaaminen lisääntyvät opinnäytetyön edetessä ja lopulta näitä taitoja voidaan soveltaa omassa työyhteisössä. (Rantanen & Järveläinen 2010, 130.) Ongelmana on toisinaan se, että tällaiset kehittämistehtävät koskevat vain yksittäistä organisaatiota tai yksikköä. Jotta kehittämistoiminnan menetelmät, kuten tutkimustiedon haku tai aineistonkeruu ja analysointi eivät jäisi vieraiksi, tulisi kehittämistehtävän täyttää tietyt kriteerit. Opinnäytetyötä tehdessä

tavoitteena on oppia laajemmin kehittämistoiminnan periaatteista ja tutustua sen työkaluihin. (Rantanen & Järveläinen 2010, 131.)

Tämän opinnäytetyön aiheen valinta syntyi monen tekijän summana. Valtakunnallisestikin pinnalla ollut aihe lääkäreiden työtehtävien siirtämisestä osittain hoitajille, on herättänyt keskustelua muutaman viimeisen vuoden aikana, myös opinnäytetyöntekijän omassa yksikössä. Useita tehtäviä on jo siirrettykin – osa suunnitellummin ja järjestelmällisemmin kuin toiset. Yksi jaettavaksi suunniteltu tehtäväkokonaisuus on leikkausvalvonnat, sillä kansainvälisesti myös tehtävään koulutuksen saaneet bioanalytiikot/laboratoriohoitajat tekevät leikkausvalvontoja. Myös opinnäytetyöntekijän oma mielenkiinto ja jo aikaisemmin alkanut IOM-perehdytys olivat syinä aiheen valikoitumiseen. Lopullinen valinta tehtiin, kun kyselytutkimuksen tekemiseen saatiin SKNFY:n IOM-työryhmän myönteinen kanta valtakunnallisten KNF-päivien yhteydessä syksyllä 2015.

Opinnäytetyön tekemiseen liittyy monta vaihetta ja sen työstäminen alkoi jo tutkimussuunnitelman ja tutkimuslupahakemusten laatimisesta. Tuolloin teorian tiedon hakeminen toteutui pitkälti olemassa olevan, pinnallisemman tiedon avulla. Opinnäytetyön edetessä tiedon määrä kasvoi ja kohdennettuja artikkelihakuja oli helpompi tehdä, sekä luetun materiaalin että käytännön työssä edenneen IOM-perehdytyksen avulla. Suositusten referointi, menetelmäkohtaisten asetusten ja hälytysrajojen taulukointi ja näiden sisällyttäminen osaksi opinnäytetyötä laajensi teoriaosuutta, mutta sen katsottiin olevan tarpeen kokonaiskuvan saamiseksi ja toisaalta tutkimuksen yhden tavoitteen saavuttamiseksi eli vertailun pohjaksi.

Opinnäytetyön haasteena oli kuitenkin aihepiirin laajuus ja siten sen mielekäs rajaus. Tiedonhaussa pyrittiin noudattamaan lähdekritiikkiä, mutta siitä huolimatta käytettyjä lähteitä on paljon. Lähteiden valinnassa pyrittiin huomioimaan julkaisuvuosi sekä julkaisun yhteys suosituksissa ja kannanotoissa sekä kyselyssä esiintyviin teemoihin. Osa lähteistä on julkaistuja teoksia, osa tunnettujen IOM-asiantuntijoiden julkaisemia artikkeleita ja katsauksia. Laadittujen suositusten ja kannanottojen luotettavuuden tueksi esiteltiin hieman myös erikoisalayhdistysten historiaa. Käytettyjen julkaisujen suuri lukumäärä johtuu osittain myös menetelmien ja käyttökohteiden sekä lähestymistapojen suuresta kirjosta. Tarkastelujakson aikana yksittäiset menetelmät ovat kehittyneet ja viimeisimmät artikkelit ja tutkimukset ovatkin parilta viime vuodelta. Suositusten ja kannanottojen sisällön tai ajantasaisuuden arviointiin ei katsottu olevan riittävästi osaamista ja sen vuoksi päädyttiin pelkästään kuvailemaan suositusten ja kannanottojen sisältöä. Liitteinä olevista taulukoista toivotaan olevan hyötyä esimerkiksi kansallisten suositusten laatimisessa, kun pohditaan teknisten yksityiskohtien kirjaamista.

Suosituksiin, kannanottoihin ja artikkeleihin tutustumisen myötä tietoisuus leikkaussalitoiminnasta ja -olosuhteista ylipäättään on lisääntynyt. Opinnäytetyön lähdemateriaalin sekä muun oleellisen aineiston saattaminen muidenkin monitoroinneissa mukana olevien tietoon ja hyödynnettäväksi

on ollut tavoitteena ja toteutunutkin jo työn edetessä. Jatkoprojektina olisi tarkoitus jalostaa opinnäytetyötä bioanalyttikoiden/laboratorio- ja sairaanhoitajien perehdytysmateriaaliksi oman organisaation KNF-yksikön käyttöön leikkausvalvontoja ajatellen. Kriittisyys on lisääntynyt sekä oman yksikön IOM-käytäntöjä että suosituksia ja kannanottoja kohtaan. Leikkausvalvontamenetelmien valinnan tai valitsematta jättämisen kyseenalaistaminen kertoo motivaatiosta ja haastaa pohtimaan. Se saa aikaan mielenkiintoisia keskusteluja ja parhaimmillaan vahvistaa leikkausvalvontatiimin yhteisiä tavoitteita.

Tässä opinnäytetyössä käytettiin hyödyksi Webropol-sovellusta kyselykaavakkeen luomisessa ja soveltuvien osien tulosten esittelyn apuna. Koska sama työkalu on opinnäytetyöntekijän organisaatiossa käytössä, on tätä osaamista mahdollista hyödyntää jatkossakin. Opinnäytetyön kirjoittaminen ja lähdekirjallisuuden lukeminen vahvistivat näkemystä siitä, että ollaan tekemisissä varsin monisyisten, haastavien ja ehdottomasti asiantuntemusta vaativien asioiden kanssa, kun puhutaan neurofysiologisista leikkausvalvonnoista. Tutustuminen erilaisten leikkausvalvonta- ja kartoitusmenetelmien teoriaan on auttanut käytännön työssä eteen tulleiden potilastapausten ja IOM-tilanteiden ymmärtämisessä. Monitorointisuunnitelmien laatiminen monitoroivan erikoislääkärin ohjaamana on vahvistanut myös IOM-menetelmien teknisen hallinnan osa-aluetta. Leikkausvalvontojen seuraaminen kokonaisuudessaan on edistänyt kokonaiskuvan hahmottamisessa. Keskustelut monitoroivan lääkärin kanssa leikkausvalvontatilanteissa, ovat tuoneet teorian lähemmäs käytännön tasoa. Entistä enemmän osaa nyt myös kiinnittää huomiota turvallisuuskäsitteisiin sekä potilaan muiden elintoimintojen tarkkailuun suhteessa neurofysiologisiin signaaleihin. Leikkausvalvontojen käytännön toteutuksen pohtiminen ja vastuukysymysten ratkaiseminen on tärkeää, mikäli KNF-hoitajan monitorointirooli kasvaa.

Kehittämishaasteena valtakunnan tasolla voisi ottaa klinisen neurofysiologian koulutuksen kehittämisen ja leikkausvalvontojen pätevyysvaatimusten laatimisen. Varsinkin bioanalyttikoiden/laboratorio- sekä sairaanhoitajien ammatillisen täydennyskoulutuksen kehittäminen esimerkiksi erillisellä IOM-tutkinnolla olisi tärkeää, mikäli hoitohenkilöstön ajatellaan jatkossa osallistuvan valvontoihin aiempaa enemmän. Neurofysiologisen leikkausvalvonnan kokonaisuuden hallitseminen vaatii sekä monialaisen teoriapohjan että runsaasti käytännön perehdytystä ja kokemusta. Tällaisen IOM-tutkinnon suorittamisella voisi osoittaa osaamisensa sekä omassa työyksikössä että muissakin yliopistollisten sairaaloiden KNF-yksiköissä. Tutkinto voisi selkeyttää pätevyyden osoittamista myös, jos aikomuksena on esimerkiksi työskentely ulkomailla.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

ACNS 2009a. Recommended Standards for Neurophysiologic Intraoperative Monitoring - Principles. Guideline 11A. American Clinical Neurophysiology Society. Saatavissa:

<https://www.acns.org/pdf/guidelines/Guideline-11A.pdf>

ACNS 2009b. Recommended Standards for Intraoperative Monitoring of Somatosensory Evoked Potentials. Guidelinen and Consensus statements. Neurophysiologic Intraoperative Monitoring. Guideline 11B. American Clinical Neurophysiology Society. Saatavissa:

<https://www.acns.org/pdf/guidelines/Guideline-11B.pdf>

ACNS 2009c. Recommended Standards for Intraoperative Monitoring of Auditory Evoked Potentials. Guidelinen and Consensus statements. Neurophysiologic Intraoperative Monitoring. Guideline 11C. American Clinical Neurophysiology Society. Saatavissa:

<https://www.acns.org/pdf/guidelines/Guideline-11C.pdf>

ACNS 2017-06-14. About ACNS. History. American Clinical Neurophysiology Society. [Viitattu: 2017-12-10.] Saatavissa: <http://www.acns.org/about-acns/history>

ANS 2017. About the ANS. Association of Neurophysiological Scientists. [Viitattu: 2017-12-10.] Saatavissa: <http://www.ansuk.org/members/>

ASET 2011. National competency skill standards for performing intraoperative neurophysiologic monitoring. American Society of Electroneurodiagnostic Technologists, Inc. The Neurodiagnostic Society. Saatavissa:

http://www.aset.org/files/public/IONM_National_Competency_Skill_Standards_Approved_2011.pdf

ASETa 2017-10-14. Vision, Mission & Values Statement. American Society of Electroneurodiagnostic Technologists. [Viitattu: 2017-10-14.] Saatavissa:

<https://www.aset.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3278>

SETb 2017-10-14. Our History: Past, Present, and Future. American Society of Electroneurodiagnostic Technologists. [Viitattu: 2017-10-14.] Saatavissa:

<https://www.aset.org/i4a/pages/index.cfm?pageid=3789>

ASNM 2017. Position Statements. American Society of Neurophysiological Monitoring. [Viitattu: 2017-07-04.] Saatavissa: <http://www.asnm.org/?page=PositionStatements>

ATULA, Sari. 2015-05-22. Keskushermoston kasvaimia. Lääkärikirja Duodecim. [Viitattu: 2017-08-09.] Saatavissa:

[http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00028&p_hakusana=keskushermoston kasvaimia](http://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=dlk00028&p_hakusana=keskushermoston_kasvaimia)

BOZINOV, Oliver, GROTZER, Michael A. & SARNTHEIN, Johannes 2015. Intraoperative Monitoring of Facial Nerve Motor-Evoked Potentials in Children. World Neurosurgery. 84(3):786 - 794 Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wneu.2015.05.008>

BSCN 2017. BSCN Clinical Practice Guidelines. British Society for Clinical Neurophysiology. [Viitattu: 2017-07-04.] Saatavissa:

http://www.bscn.org.uk/content_wide.aspx?Group=guidelines&Page=guidelines_home

BURKE, David, NUWER, Marc R., DAUBE, Jasper, FISCHER, Catherine, SCHRAMM, Johannes, YINGLING, Charles D. & JONES, Stephen J. 1999. Intraoperative monitoring. Chapter 3.2. Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology. International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. EEG Suppl. 52:133 - 148. Elsevier Science B.V. Saatavissa: <http://www.clinph-journal.com/pb/assets/raw/Health%20Advance/journals/clinph/Chapter3-2.pdf>

CROSS, Cathy, KLETTKE, Ken & TASKEY, Bobby 1999. Guidelines for Performing EEG and Evoked Potential Monitoring During Surgery. International Organization of Societies for Electrophysiological Technology (OSET). [Viitattu: 2017-10-15.] Saatavissa: <http://www.oset.org/Guidelines.html>

CRUCCU, G., AMINOFF, M.J., CURIO, G., GUERIT, J.M., KAKIGI, R., MAUGUIERE, F., ROSSINI, P.M., TREEDE, R.-D. & GARCIA-LARREA L. 2008. Recommendations for the clinical use of somatosensory evoked potentials. *Clinical Neurophysiology*. 119(8):1705 - 1719. Elsevier. Saatavissa: [http://www.clinph-journal.com/article/S1388-2457\(08\)00204-6/pdf](http://www.clinph-journal.com/article/S1388-2457(08)00204-6/pdf)

CRUM, Brian 2009. Brain Stem and Cranial Nerve Monitoring. Chapter 43. Teoksessa *Clinical Neurophysiology*. Third edition. Daube, Jasper R. & Rubin, Devon I. (toim.). New York: Oxford University Press, Inc. 739 - 749.

DAUBE, Jasper R. & RUBIN, Devon I. 2009 (toim.) Intraoperative monitoring. Teoksessa *Clinical Neurophysiology*. Third edition. New York: Oxford University Press, Inc. 725.

DELETIS, Vedran & SALA, Francesco 2008. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: A review focus on the corticospinal tracts. *Clinical Neurophysiology*. 119(2):248 - 264. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.clinph.2007.09.135>

DELETIS, Vedran 2016. Intraoperative neurophysiology and methodologies used to monitor the functional integrity of the motor system. *International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016*. Groningen, The Netherlands. 31 - 49.

DONG, Charles 2016. Auditory evoked potentials. *International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016*. Groningen, The Netherlands. 51 - 54.

DONG, Charles C.J., MacDONALD, David B., AKAGAMI, Ryojo, WESTERBERG, Brian, AIKHANI, Ahmed, KANAAN, Imad & HASSOUNAH, Maher. 2005. Intraoperative facial motor evoked potential monitoring with transcranial electrical stimulation during skull base surgery. *Clinical Neurophysiology*. 116(3):588 - 596. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.09.013>

FERNÁNDEZ-CONJERO, Isabel 2016. Intraoperative cortical and brainstem mapping techniques. Saatavissa: *International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016*. Groningen, The Netherlands. 55 - 57.

FINLEX 2010-06-24. Laki terveydenhuollon laitteista ja tarvikkeista 629/2010. [Viitattu: 2017-12-28.] Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20100629>

GROVER, Helen 2016. Results of UK audit. Results National audit of IONM of spinal cord during corrective spinal deformity surgery 2016. [Viitattu: 2016-11-03.] *British Society of Clinical Neurophysiology*. Saatavissa: http://www.bscn.org.uk/data/files/Audit/Audit16_IONM3_Grover.pdf

HELENIUS, I., KESKINEN, H., SYVÄNEN, J. LUKKARINEN, H., MATTILA, M., VÄLIPAKKA, J. & PAJULO, O. 2016. Gelatine matrix with human thrombin decreases blood loss in adolescents undergoing posterior spinal fusion for idiopathic scoliosis. A multicentre, randomised clinical trial. *The Bone & Joint Journal*. 98-B:395 - 401. Saatavissa: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.98B3.36344>

HELENIUS, Ilkka & PAJULO, Olli 2015. Vaikean skolioosin hoito. *Lääketieteellinen Aikakausikirja Duodecim. Katsaus*. 131(19):1785 - 1791. Saatavissa: <http://www.duodecimlehti.fi/lehti/2015/19/duo12461>

HELENIUS, Ilkka 2009. Kasvuikäisen selkäongelmien kirurginen hoito. *Lääketieteellinen Aikakausikirja Duodecim. Katsaus*. 125:1168 - 1175. Saatavissa: <http://www.terveyskirjasto.fi/xmedia/duo/duo98098.pdf>

- HELENIUS, Linda & AANTAA, Riku 2016. Skolioosianestesian erityispiirteet. 49(3):170 - 173. Finnanest. Saatavissa: http://www.finnanest.fi/files/helenius_aantaa_skolioosianestesian_erytispiirteet.pdf
- HIRSJÄRVI, Sirkka, REMES, Pirkko & SAJAVAARA, Paula 2001. Tutki ja kirjoita. 6.–7. painos. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi.
- IEC 60601-1:2005(E). Classification of applied parts. Medical electrical equipment – Part 1: General requirements for basic safety and essential performance. International standard. Third edition 2005-12. 1-777. Saatavissa: http://www.ele.uri.edu/courses/bme484/iec60601-1ed3.0_parts.pdf
- IFCN 2017-07-03. The International Federation of Clinical Neurophysiology. [Viitattu: 2017-07-03.] Saatavissa: <http://www.ifcn.info/showcontent.aspx?MenuID=1125>
- ISLEY, Michael R., EDMONDS JR., Harvey L. & STECKER, Mark 2009. Guidelines for Intraoperative Neuromonitoring Using Raw (Analog or Digital Waveforms) and Quantitative electroencephalography: A Position Statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 23(6):369 - 390. Springer. Saatavissa: http://c.ymcdn.com/sites/www.asnm.org/resource/resmgr/Position_Statements/EEG_published.pdf
- JAIN, Amit, KHANNA, A. Jay & HASSANZADEH, Hamid 2015. Management of intraoperative neuromonitoring signal loss. Seminars in Spine Surgery. 27(4):229 - 232. Elsevier. Saatavissa: <https://doi.org/10.1053/j.semss.2015.04.009>
- JOURNEE, Henricus Louis 2008. Motor EP physiology, risks and specific anesthetic effects. Chapter 15. Teoksessa Intraoperative Monitoring of Neural Function. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 218 - 234. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08015-X](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08015-X)
- JÄNTTI, Ville & SLOAN, Tod B. 2008. EEG and anesthetic effects. Chapter 4. Teoksessa Intraoperative Monitoring of Neural Function. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 77 - 93. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08004-5](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08004-5)
- JÄÄSKELÄINEN, Satu, OJA, Sakari, PARTANEN, Juhani, PYYKKÖ, Ilmari & SAINIO, Kimmo 2006. Leikkauksen aikainen neurofysiologinen leikkausvalvonta. Teoksessa Kliininen neurofysiologia. Partanen, J., Falck, B., Hasan, J., Jäntti, V., Salmi, T. & Tolonen, U. (toim.). Helsinki: Kustannus Oy Duodecim. 729 - 748.
- KAMEL, Ihab R., DRUM, Elizabeth T., KOCH, Stephen A., WHITTEN, Joseph A., GAUGHAN, John P., BARNETTE, Rodger E. & WENDLING, Woodrow W. 2006. The use of somatosensory evoked potentials to determine the relationship between patient positioning and impending upper extremity nerve injury during spine surgery: a retrospective analysis. Anesthesia & Analgesia. 102(5):1538 - 1542. Saatavissa: <https://doi.org/10.1213/01.ane.0000198666.11523.d6>
- KANANEN, Jorma 2014. Verkkotutkimus opinnäytetyönä. Laadullisen ja määrällisen verkkotutkimuksen opas. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisusarja. Makkonen, T. (toim.) Suomen Yliopistopaino Oy.
- KODAMA, Kunihiro, GOTO, Tetsuya, SATO, Atsushi, SAKAI Keiichi, TANAKA, Yuichiro & HONGO, Kazuhiro 2010. Standard and limitation of intraoperative monitoring of the visual evoked potential. Acta Neurochirurgica. The European Journal of Neurosurgery. 152(4):643 - 648. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00701-010-0600-2>
- LALL, Rishi R., LALL, Rohan R., HAUPTMAN, Jason S., MUNOZ, Carlos, CYBULSKI, George R., KOSKI, Tyler, GANJU, Aruna, FESSLER, Richard G. & SMITH, Zachary A. 2012. Intraoperative neurophysiological monitoring in spine surgery: indications, efficacy, and role of the preoperative checklist. Neurosurgical Focus. 33(5):1 - 10. Saatavissa: <http://thejns.org/doi/pdf/10.3171/2012.9.FOCUS12235>

- LEGATT, Alan D. 2013. Intraoperative monitoring of auditory evoked potentials. Chapter 12. Disorders of Peripheral and Central Auditory Processing. Teoksessa Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 10. Celesia, Gastone G. (toim.) Elsevier B.V. 235 - 252. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-5310-8.00012-0>
- LEGATT, Alan D., EMERSON, Ronald G., EPSTEIN, Charles M., MacDONALD, David B., DELETIS, Vedran, BRAVO, Ricardo J. & LÓPEZ, Jaime R. 2016. ACNS Guideline: Transcranial Electrical Stimulation Motor Evoked Potential Monitoring. Journal of Clinical Neurophysiology 33(1):42 - 50. Saatavissa: http://www.acns.org/UserFiles/file/ACNS_Guideline__Transcranial_Electrical.9_v1.pdf
- LEPPANEN, Ronald E. 2005. Intraoperative Monitoring of Segmental Spinal Nerve Root Function with Free-run and Electrically-triggered Electromyography and Spinal Cord Function with Reflexes and F-responses. A position Statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 19(6):437 - 461. Springer. Saatavissa: http://c.ymcdn.com/sites/www.asnm.org/resource/resmgr/Position_Statements/EMG_published.pdf
- MacDONALD, D.B. 2016a. An overview of intraoperative electrophysiology. International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & abstract book 2016. Groningen, The Netherlands. 17 - 18.
- MacDONALD, D.B. 2016b. IONM state of art. International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & abstract book 2016. Groningen, The Netherlands. 101 - 102.
- MacDONALD, D.B., SKINNER, S., SHILS, J. & YINGLING, C. 2013. Intraoperative motor evoked potential monitoring – A Position Statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Clinical Neurophysiology. 124(12):2291 - 2316. Elsevier. Saatavissa: http://c.ymcdn.com/sites/www.asnm.org/resource/resmgr/Position_Statements/Intraoperative_Motor_Evoked_.pdf
- MacDONALD, David B. & DELETIS, Vedran 2008. Safety issues during surgical monitoring. Chapter 65. Teoksessa Intraoperative Monitoring of Neural Function. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 882 - 895. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08065-3](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08065-3)
- MacDONALD, David B. 2002. Safety of intraoperative transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. Journal of Clinical Neurophysiology. 19(5):416 - 429. Saatavissa: <https://insights.ovid.com/pubmed?pmid=12477987>
- MARTIN, William Hal & STECKER, Mark M. 2008. ASNM Position Statement: Intraoperative Monitoring of Auditory Evoked Potentials. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 22(1):75 - 85. Springer. Saatavissa: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10877-007-9108-6>
- MOBERLY, Aaron C., & WELLING, Bradley 2015. Clinical evaluation of the cranial nerves. Kappale 11. Teoksessa Clinical otology. Fourth edition. Pensak, Myles L. & Choo, Daniel I. (toim.). New York: Thieme. 112 - 127. Saatavissa: http://www.circulomedicodezarate.org/e-books/Clinical_Otology_4th.Ed_booksmedicos.org.pdf
- MOROTA, Nobuhito, IHARA, Satoshi, & DELETIS, Vedran 2010. Intraoperative neurophysiology for surgery in and around the brainstem: role of brainstem mapping and corticobulbar tract motor-evoked potential monitoring. Child's nervous system. 26(4): 513 - 521. Saatavissa: <http://doi.org/10.1007/s00381-009-1080-7>
- MÄENPÄÄ, Hanna & HALONEN, Päivi 2016 (toim.). Tietoa aikuisten aivokasvaimista. Suomen Syöpäpotilaat ry. Helsinki. Origos oy. 1 - 88. Saatavissa: http://syopapotilaat-fi-bin.directo.fi/@Bin/0dc2aaa97c26d5cb15a47f84cd5111d0/1464537498/application/pdf/492357/Aikuisten_aivokasvaimet_2016_Netti.pdf

- MØLLER, Aage R. 2010. (toim.) Introduction. Teoksessa Intraoperative Neurophysiological Monitoring. Third Edition. Sähköinen kirja. Springer. Saatavissa: https://books.google.fi/books?hl=fi&lr=&id=SavXKpPMWaIC&oi=fnd&pg=PR5&dq=history+of+intraoperative+neurophysiological+monitoring&ots=O-p_y8MXgt&sig=e_OP-g6Rf4V78GhR7cCrEUzIqZw&redir_esc=y#v=onepage&q=history%20of%20intraoperative%20neurophysiological%20monitoring&f=false
- NUWER, Marc R. & LÜCKING, Carl H. 2010a. Wave Length and Action Potentials: History of the International Federation of Clinical Neurophysiology. Chapter 1: 1947–1949 The founding years. Elsevier B.V. 3 - 10. Saatavissa: <http://www.ifcn.info/uploadfiles/documents/history/sdarticle6.pdf>
- NUWER, Marc R. & LÜCKING, Carl H. 2010b. Wave Length and Action Potentials: History of the International Federation of Clinical Neurophysiology. Chapter 2: 1949–1953 President: H.H. Jasper. Elsevier B.V. 11 - 14. Saatavissa: <http://www.ifcn.info/uploadfiles/documents/history/sdarticle7.pdf>
- NUWER, Marc R. & LÜCKING, Carl H. 2010c. Wave Length and Action Potentials: History of the International Federation of Clinical Neurophysiology. Chapter 3: 1953–1957 President: W. Grey Walter. Elsevier B.V. 15 - 17. Saatavissa: <http://www.ifcn.info/uploadfiles/documents/history/sdarticle8.pdf>
- NUWER, Marc R. & LÜCKING, Carl H. 2010d. Wave Length and Action Potentials: History of the International Federation of Clinical Neurophysiology. Chapter 7: 1969–1973 President: C. Ajmone Marsan. Elsevier B.V. 37 - 40. Saatavissa: <http://www.ifcn.info/uploadfiles/documents/history/sdarticle12.pdf>
- NUWER, Marc R. & LÜCKING, Carl H. 2010e. Wave Length and Action Potentials: History of the International Federation of Clinical Neurophysiology. Chapter 12: 1990–1993 President: Jun Kimura. Elsevier B.V. 79 - 92. Saatavissa: <http://www.ifcn.info/uploadfiles/documents/history/sdarticle17.pdf>
- NUWER, Marc R. & PACKWOOD, James W. 2008. Somatosensory evoked potential monitoring with scalp and cervical recording. Chapter 11. Teoksessa Intraoperative Monitoring of Neural Function. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 180 - 189. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08011-2](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08011-2)
- NUWER, Marc R. 2010. Introduction, history, and staffing for intraoperative monitoring. Teoksessa: Intraoperative Neurophysiologic Monitoring. GALLOWAY, Gloria M., NUWER, Marc R., LOPEZ, Jaime R. & ZAMEL, Khaled M. (toim.). Cambridge University Press. 1 - 9. Saatavissa: https://books.google.fi/books?id=TUIFJINh6_MC&printsec=frontcover&hl=fi&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false
- NUWER, Marc R., EMERSON, Ronald G., GALLOWAY, Gloria, LEGATT, Alan D, LOPEZ, Jaime, MINAHAN, Robert, YAMADA, Thoru, GOODIN, Douglas S., ARMON, Carmel, CHAUDHRY, Vinay, GRONSETH, Gary S. & HARDEN, Cynthia L. 2012. Evidence-Based Guideline Update: Intraoperative Spinal Monitoring with Somatosensory and Transcranial Electrical Motor Evoked Potentials. Journal of Clinical Neurophysiology. 29(1):101 - 108. Saatavissa: <https://www.acns.org/pdf/guidelines/Guideline-15.pdf>
- OH, Taemin, NAGASAWA, Daniel T., FONG, Brendan M., TRANG, Andy, GOPEN, Quinton, PARSA, Andrew T. & YANG, Isaac 2012. Intraoperative neuromonitoring techniques in the surgical management of acoustic neuromas. Neurosurgical Focus. 33(3):E6. 1 - 10. Saatavissa: <http://thejns.org/doi/pdf/10.3171/2012.6.FOCUS12194>
- OSET 2017-10-14. Purpose of OSET. [Viitattu: 2017-10-14.] Saatavissa: http://www.oset.org/About_Us.html

OTTENHAUSEN, Malte, KRIEG, Sandro M., MEYER, Bernhard & RINGEL, Florian 2015. Functional preoperative and intraoperative mapping and monitoring: increasing safety and efficacy in glioma surgery. *Neurosurgical Focus*. 38(1):E3 1 - 13. Saatavissa:

<http://thejns.org/doi/pdf/10.3171/2014.10.FOCUS14611>

PAJEWSKI, Thomas, ARLET, Vincent & PHILLIPS, Lawrence H. 2007. Current approach on spinal cord monitoring: the point of view of the neurologist, the anesthesiologist and the spine surgeon. *European Spine Journal*. 16(2):115 - 12. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0419-6>

PRELL, Julian 2016. Monitoring and mapping of the trigeminal and facial nerves. *International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016*. Groningen, The Netherlands. 69 - 70.

RABAI, Ferenc, SESSIONS, Renard & SEUBERT, Christoph N. 2016. Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 30(1):53 - 68. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpa.2015.11.006>

RAJAN, S., SIMON, MV. & NAIR DG. 2016. Intraoperative visual evoked potentials: There is more to it than meets the eye. *Journal of Neurology and Neuroscience*. 7(3):106. 1 - 11. Saatavissa: <http://www.jneuro.com/neurology-neuroscience/intraoperative-visual-evoked-potentials-there-is-more-to-it-than-meets-theeye.pdf>

RANTANEN, Teemu & JÄRVELÄINEN, Eeva 2010. Ylempi AMK-tutkinto työelämän kehittämistutkintona. Julkaisussa: Näkökulmia ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon tuottamaan osaamiseen sosiaali- ja terveysalalla. Teemu Rantanen & Ulpukka Isopahkala-Bouret (toim.). Laurea-ammattikorkeakoulun julkaisusarja. A-71. Helsinki: Edita Prima Oy. 129 - 150. Saatavissa: <https://www.laurea.fi/dokumentit/Documents/A71.pdf>

ROSSINI, P.M., BERARDELLI, A., DEUSCHL, G., HALLETT, M., MAERTENS DE NOORDHOUT, A., PAULUS, W. & PAURI, F. 1999. Applications of magnetic cortical stimulation. Chapter 3.5. *Recommendations for the Practice of Clinical Neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology. International Federation of Clinical Neurophysiology. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology. EEG Suppl.* 52:133 - 148. Elsevier Science B.V. Saatavissa: <http://www.clinph-journal.com/pb/assets/raw/Health%20Advance/journals/clinph/Chapter3-5.pdf>

SALA, Francesco, KRŽAN, Matevž J. & DELETIS, Vedran 2002. Intraoperative neurophysiological monitoring in pediatric neurosurgery: why, when, how? *Child's nervous system*. 18(6-7):264 - 287. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s00381-002-0582-3>

SANDERS, Brett 2016. Results of UK survey. *National IOM survey. Joint national audit*. [Viitattu: 2016-11-03.] Saatavissa: http://www.bscn.org.uk/data/files/Audit/Audit16_IONM2_Sanders.pdf

SAN-JUAN, Daniel, ESCANIO CORTÉS, Manuel, TENA-SUCK, Martha, OROZCO GARDUÑO, Adolfo Josué, LÓPEZ PIZANO, Jesús Alejandro, VILLANUEVA DOMÍNGUEZ, Jonathan, FERNÁNDEZ GÓNZALEZ-ARAGÓN, Maricarmen & GÓMEZ-AMADOR, Juan Luis 2016. Neurophysiological intraoperative monitoring during an optic nerve schwannoma removal. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 31(5):1059 - 1064. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10877-016-9932-7>

SHILS, Jay L. 2016. Safety issue in the operating room. *International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016*. Groningen, The Netherlands. 21 - 22.

SKINNER, Stanley A., COHEN, Bernard Allan, MORLEDGE, David Eric, McAULIFFE, John J., HASTINGS, John Daniel, YINGLING, Charles D. & McCAFFREY, Michael 2014. Practice guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*. 27(4):103 - 111. Springer. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10877-013-9496-8>

- SLOAN, Ted B. & JÄNTTI, Ville 2008. Anesthetic effects on evoked potentials. Chapter 5. Teoksessa Intraoperative Monitoring of Neural Function. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 94 - 126. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08005-7](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08005-7)
- SO, Elson L. & SHARBROUG, Frank W. 2009. Cerebral Function Monitoring. Chapter 42. Teoksessa Clinical Neurophysiology. Third edition. Daube, Jasper R. ja Rubin, Devon I. (toim.). New York: Oxford University Press, Inc. 727 - 738.
- SOTO, Francisco 2016. Monitoring Somatosensory Evoked Potentials. Saatavissa: International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016. Groningen, The Netherlands. 27 - 29.
- STECKER, Mark 2012. A review of intraoperative monitoring for spinal surgery. Surgical Neurology International. 3 (3):174 - 187. Saatavissa: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3422092/>
- STECKER, Mark M. & ROBERTSHAW, Jennifer 2006. Factors Affecting Reliability of Interpretations of Intra-Operative Evoked Potentials. Journal of Clinical Monitoring and Computing. 20(1):47 - 55. Springer. Saatavissa: <https://doi.org/10.1007/s10877-005-9006-8>
- STROMMEN, Jeffrey A. 2009. Spinal Cord Monitoring. Chapter 44. Teoksessa Clinical Neurophysiology. Third edition. Daube, Jasper R. ja Rubin, Devon I. (toim.). New York: Oxford University Press, Inc. 751 - 776.
- SZELÉNYI, Andrea 2009. Multimodal monitoring in neurosurgery: strategies to monitor the central region. International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Kongressimateriaali. Dubrovnik, Croatia. 1 - 6.
- SZELÉNYI, Andrea 2016. MEP monitoring for excision of infratentorial tumors. International Society of Intraoperative Neurophysiology. Educational course. Program & Abstract book 2016. Groningen, The Netherlands. 65 - 66.
- TAMKUS, Arvydas & RICE, Kent 2012. The incidence of bite injury associated with transcranial motor-evoked potential monitoring. Anesthesia and Analgesia. 115(3):663 - 667. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22523421>
- TAMKUS, Arvydas A., RICE, Kent S. & McCAFFREY, Michael T. 2015. Quality assurance and performance improvement in intraoperative neurophysiologic monitoring programs. The Neurodiagnostic Journal. 53(1):46 - 57. Saatavissa: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/21646821.2013.11079884?needAccess=true>
- TENK 2012. Tutkimuseettinen neuvottelukunta. Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitleminen Suomessa. Tutkimuseettisen neuvottelukunnan ohje 2012. Helsinki. Saatavissa: http://www.tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf
- THIRUMALA, Parthasarathy D., CHENG, Hannah L., LOKE, Yoon K., HAMILTON, D. Kojo, BALZER, Jeffrey & CRAMMOND, Donald J. 2016. Diagnostic accuracy of somatosensory evoked potential monitoring during scoliosis fusion. Journal of Clinical Neuroscience. 30:8 - 14. Saatavissa: <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2016.01.017>
- THIRUMALA, Parthasarathy D., HABEYCH, Miguel E., CRAMMOND, Donald J. & BALZER, Jeffrey R. 2011. Neurophysiologic intraoperative monitoring of olfactory and optic nerves. Journal of Clinical Neurophysiology. 28(6):538 - 542. Saatavissa: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22146358>
- TOLEIKIS, J. Richard 2010. Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials. A Position Statement by the American Society of Neurophysiological Monitoring. Saatavissa: http://c.ymcdn.com/sites/www.asnm.org/resource/resmgr/position_statements/sep.pdf

TOLEIKIS, J. Richard 2015. The basic techniques of intraoperative neurophysiologic monitoring for spine surgery. *Seminars in Spine Surgery*. 27(4):186 - 196. Elsevier. Saatavissa: <https://doi.org/10.1053/j.semss.2015.04.002>

ULKATAN, Sedat, JARAMILLO, Ana Maria, TÉLLEZ, Maria J., KIM, Jinu, DELETIS, Vedran & SEIDEL, Kathleen 2017. Incidence of intraoperative seizure during motor evoked potential monitoring in a large cohort of patients undergoing different surgical procedures. *Journal of neurosurgery*. 126(4):1296 - 1302. Saatavissa: <http://thejns.org/doi/10.3171/2016.4.JNS151264>

WALSH, Peter, COWAN, Joseph, FOSTER, Alan, GROCOTT, Lesley, HEATH, Peter, KANE, Nick & PLUMB, Karen 2012. ANS/BSCN Guidelines for Neurophysiological Recordings of the Spinal Cord during Corrective Spinal Deformity Surgery. The Association of Neurophysiological Scientists/British Society for Clinical Neurophysiology. 1 - 8. [Viitattu: 2017-06-29.] Saatavissa: http://www.ansuk.org/fileadmin/ANS/Audit_Content/ans-bscn-standards-iom.pdf

Van HUFFELEN, A.C. 2008. Electroencephalography used in monitoring neural function during surgery. Chapter 6. Teoksessa *Intraoperative Monitoring of Neural Function*. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 128 - 140. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08006-9](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08006-9)

VEHKALAHTI, Kimmo 2014. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Oy Finn Lectura Ab.

VILKKA, Hanna 2007. Tutki ja mittaa. Määrällisen tutkimuksen perusteet. Helsinki: Kustannusosakeyhtiö Tammi. Saatavissa: <http://hanna.vilka.fi/wp-content/uploads/2014/02/Tutki-ja-mittaa.pdf>

WOLLERSHEIM, H. BURGERS, J. & GROL, R. 2005. Clinical guidelines to improve patient care. *The Netherlands journal of medicine*. 63(6):188 - 192. Saatavissa: <http://www.njmonline.nl/getpdf.php?id=319>

YAMAKAMI, I., YOSHINORO, H. SAEKI, N., WADA, M. & OKA, N. 2009. Hearing preservation and intraoperative auditory brainstem response and cochlear nerve compound action potential monitoring in the removal of small acoustic neurinoma via the retrosigmoid approach. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*. 80(2):218 - 227. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.1136/jnnp.2008.156919>

YORK, Donald 2008. Visual evoked potentials during surgery. Chapter 10. Teoksessa *Intraoperative Monitoring of Neural Function*. Handbook of Clinical Neurophysiology. Volume 8. Nuwer, Marc R. (toim.) Amsterdam: Elsevier B.V. 172 - 177. Saatavissa: [https://doi.org/10.1016/S1567-4231\(07\)08010-0](https://doi.org/10.1016/S1567-4231(07)08010-0)

LIITE 1: LYHENTEET JA MÄÄRITELMÄT

ABR – Auditory brainstem response
 ACNS – American Clinical Neurophysiology Society
 AN-CAP – Auditory nerve compound action potential
 ANS – Association of Neurophysiological Scientists
 ASET – American Society of Electroneurodiagnostic Technologists
 ASNM – American Society of Neurophysiological Monitoring
 BAEP – Brainstem auditory evoked potentials
 BIS® – Bispectral index
 BSCN – British Society for Clinical Neurophysiology
 CBT-MEP – corticobulbar tract motor-evoked potential
 cMAP – Compound muscle action potential
 cNAP – Compound nerve action potential / Cochlear nerve action potential
 DBS – Deep brain stimulation
 DCS – Direct cortical stimulation / Direct cerebral stimulation / Dorsal column stimulator
 DENM – Direct eight nerve monitoring
 DTI – Diffusion tensor imaging
 ECT – Electroconvulsive therapy
 EcochG-gram – Electrocochleogram
 ECOG – Electrocochleography
 ECoG – Electrocorticography
 EEG – Electroencephalography
 EMG – Electromyography
 FNMEP – facial nerve motor-evoked potential
 fMRI – Functional magnetic resonance imaging
 ICP – Intracranial pressure
 IFCN – International Federation of Clinical Neurophysiology
 IOM – Intraoperative monitoring
 IONM – Intraoperative neurophysiological monitoring
 ISIN – International Society of Intraoperative Neurophysiology
 MAP – Mean arterial pressure
 MEG – Magnetoencephalography
 MEP – Motor evoked potentials
 nTMS – Navigated transcranial magnetic stimulation
 rEEG – Raw electroencephalography
 rTMS – Repetitive transcranial magnetic stimulation
 OSET – International Organisation of Societies for Electrophysiological Technology
 qEEG – Quantitative electroencephalography
 SEP – Somatosensory evoked potentials
 SCS – Subcortical stimulation / Spinal cord stimulator
 SKNFY – Suomen klinisen neurofysiologian yhdistys ry.
 TES – Transcranial electrical stimulation

LIITE 2: SAATEKIRJE

Intraoperatiiviset neurofysiologisen monitoroinnit - Käytännöt Suomessa

Turussa 30.01.2017

Arvoisa vastaanottaja,

vuoden 2015 valtakunnallisten KNF-päivien yhteydessä pidettiin IOM-kokous. Tuolloin kyseltiin alustavasti, nähdäänkö tarpeellisenä selvittää intraoperatiivisten neurofysiologisten monitorointien käytäntöjä Suomessa. Selvitystyö nähtiin tuolloin hyödyllisenä ja se päätettiin toteuttaa kyselyn avulla. Kysely laadittiin käyttäen apuna muun muassa kansainvälisiä suosituksia ja kannanottoja.

Kyselytutkimuksen tekemiseen on haettu ja saatu tutkimuslupa kaikista yliopistollisista sairaaloista. Kyselyyn osallistuminen on vapaaehtoista ja luottamuksellista. Vastaukset käsitellään tilastollisin menetelmin nimettöminä eivätkä vastaajien tai sairaaloiden tiedot tule erottumaan tuloksissa. Kyselytutkimus toteutetaan sähköisenä kyselynä Webropol-tutkimustyökalua hyödyntäen. Linkki kyselyyn on tämän saatekirjeen lopussa. Kyselyyn on aikaa vastata noin kolme viikkoa, palautuspäivänä **17.02.2017**.

Opiskelen Kuopiossa Savonia-ammattikorkeakoulussa sosiaali- ja terveysalan ylempää ammattikorkeakoulututkintoa. Valmistuessani tutkinto-ohjelmasta nimikkeenä tulee olemaan bioanalyttikko YAMK, kliininen asiantuntija. Opiskelun ohessa työskentelen Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin Tyks-Sapa-liikelaitoksen neurofysiologian yksikössä. Opinnäytetyöni tarkoituksena on kyselytutkimuksen avulla kartoittaa leikkauksen aikaisia neurofysiologisia monitorointikäytäntöjä yliopistollisissa sairaaloissa kuvaamalla kolme eri standardileikkausta.

Opinnäytetyöni ohjaajina toimivat Varsinais-Suomen sairaanhoitopiirin TYKS-Sapa-liikelaitoksen kliinisen neurofysiologian yksikön erikoislääkärit Antti Puhakka ja Santeri Aura. Savonia-ammattikorkeakoulun puolelta ohjaajana toimii yliopettaja Sirkka-Liisa Halimaa.

Kyselyn tulokset tullaan esittämään vuoden 2018 Tampereella järjestettävien KNF-päivien yhteydessä pidettävässä IOM-kokouksessa ja opinnäytetyöni tullaan julkaisemaan Internetissä Theseuksessa. Opinnäytetyö voidaan lähettää myös sähköisessä muodossa kyselyyn vastanneisiin yksiköihin, jos se katsotaan tarpeelliseksi.

Kiitokset arvokkaista vastauksistanne ja yhteistyöstä.

Tiedustelut:

Eeva-Liisa Kärpijoki

Antti Puhakka

Santeri Aura

Sirkka-Liisa Halimaa

LIITE 3: YHTENVETO NEUROFYSIOLOGISTEN LEIKKAUSVALVONTOJEN KANSAINVÄLISISTÄ SUOSITUKSISTA JA KANNANOTOISTA

TEKIJÄ		VUOSI	SUOSITUS	BAEP/ ABR	EcochG	cNAP	EEG	ECoG	SEP	Tunto/liike- aivokuoren kartoitus	TesMEP	D-aalto	DCS /SCS	EMG	Henkilöstö/ pätevyys- vaatimukset
Legat, Emerson, Epstein, MacDonald, Deletis, Bravo & López	ACNS	2016	ACNS Guideline 18: Transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring								x	x			x
MacDonald, Skinner, Shils & Yingling	ASNM	2013	Intraoperative motor evoked potential monitoring. <i>A position statement</i> by the American Society of Neurophysiological Monitoring								x	x	x		x
Skinner, Cohen, Morledge, McAuliffe, Hastings, Yingling & McCaffery	ASNM	2013	Practise guidelines for the supervising professional: intraoperative neurophysiological monitoring												x
Walsh, Cowan, Foster, Grocott, Heath, Kane & Plumb	ANS/BSCN	2012	ANS/BSCN guidelines for neurophysiological recordings of the spinal cord during corrective spinal deformity surgery						x		x				
Nuwer, Emerson, Galloway, Legatt, López, Minahan, Yamada, Goodin, Armon, Chaudhry, Gronseth & Harden	ACNS/AAN	2012	Guideline 15: Evidence-based <u>guideline update</u> : Intraoperative spinal monitoring with somatosensory and transcranial electrical motor evoked potentials						x		x				x
	ASET	2011	National competency skill standards for performing intraoperative neurophysiologic monitoring	x			x		x	x	x			x	x
Toleikis	ASNM	2010	Intraoperative monitoring using somatosensory evoked potentials. <i>A position statement</i> by the American Society of Neurophysiological Monitoring			x			x	x					x
	ACNS	2009	Guideline 11A: Recommended standards for neurophysiologic intraoperative monitoring - principles												x
	ACNS	2009	Guideline 11B: Recommended standards for intraoperative monitoring of somatosensory evoked potentials						x	x					
	ACNS	2009	Guideline 11C: Recommended standards for intraoperative monitoring of auditory evoked potentials	x		x									
Isley, Edmonds & Stecker	ASNM	2009	Guidelines for intraoperative neuromonitoring using raw (analog or digital waveforms) and quantitative electroencephalography. <i>A position statement</i> by the American Society of Neurophysiological Monitoring.				x								x
Crucchi, Aminoff, Curio, Guerit, Kakigi, Mauguiera, Rossini, Treede & Garcia-Larrea	IFCN	2008	Recommendations for clinical use of somatosensory-evoked potentials						x	x					
Martin & Stecker	ASNM	2008	ASNM <i>Position Statement</i> : Intraoperative monitoring of auditory evoked potentials	x	x	x									
Leppanen	ASNM	2005	Intraoperative monitoring of segmental spinal nerve root function with free-run and electrically-triggered electromyography and spinal cord function with reflexes and F-responses. <i>A position statement</i> by the American Society of Neurophysiological Monitoring											x	x
Burke, Nuwer, Daube, Fischer, Schramm, Yingling & Jones	IFCN	1999	Intraoperative monitoring. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology	x		x	x	x	x			x		x	
Cross, Klettke & Taskey	OSET	1999	Guidelines for performing EEG and evoked potential monitoring during surgery	x			x	x	x	x					x
Rossini, Berardelli, Deuschl, Hallett, de Noordhout, Paulus & Pauri	IFCN	1999	Applications of magnetic cortical stimulation. Recommendations for the practice of clinical neurophysiology: Guidelines of the International Federation of Clinical Physiology								x				

LIITE 5: SOMATOSENSORISEN RADAN LEIKKAUKSEN AIKAISIA MONITOROINTIMENETELMIÄ JA TEKNISIÄ SUOSITUKSIA

		Stimulation			Stimulation parameters			Recording			Recording parameters				Alarm criteria	
		Upper limbs	Lower limbs	Other	Pulse duration (µs)	Pulse rate (Hz)	Intensity (mA)	Upper limbs	Lower limbs	Other	Time base	HFF (Hz)	LFF (Hz)	Average	Amplitude	Larency
SEP	ASNM (2010)	median, ulnar	tibial, peroneal	dermatome	200-300µs	2-5Hz ; 4,7-4,9Hz ; Alaraajat: 1,5-3Hz	supramax. ei > 50mA	CP3 or CP4/Fz, CP3/CP4 or CP4/CP3 or CP3/Erb dx; cervical/Fz ; Fz or Cz/LM ; Erb-i/Erb-c	CPz/Fz ; CP3/CP4 or CPz/CP-c ; CP-i/LM; cervical/Fz; PF - Ia.		50-100ms	Cortical: 250-1000Hz ; Subcortical: 1000-3000Hz ; 300-500Hz	Cortical: 1-30Hz ; Subcortical: 30-100Hz	500-2000 ; Yläraajat: 100	50% ↓	10% ↑
	ACNS (2009b)	median (C6 ↑) ulnar (C8 ↑)	tibial, peroneal (C8 ↓)		100-300µs	Yläraajat: 2-8Hz → 20Hz ; Alaraajat: 2-10Hz	30-40mA	CP3/CP4, CP3/Erb-c, CP4/Erb-c, Erp-i/Erb-c	Cz/CP4, Cz/Fpz, CP3/CP4, CPz/CP4 CPz/ chin/Erb-c, PF1/PF2		Yläraajat: 40-50ms ; Alaraajat: 75-150ms	1000Hz	30Hz	250-1000	50% ↓	10% ↑
	ASN/BSCN (2012)	median, ulnar, radial, elbow/antecubital fossa (ACF), brachium, Erb - Ia.	tibial (ankle or popliteal fossa, PF), peroneal (knee) - Ia.				supramax.	CPz, C3/C4, elbow/ACF, brachia, Erb, cervical spine	CPz, C3/C4, PF, cervical vertebrae, epidural electrodes					every 5 minutes or more frequently	loss of waveform, ≥50% ↓, change in morphology	≥10% ↑
	OSET (1999)	median, ulnar - Ia.	tibial, peroneal - Ia.		100-200µs	2-(1,3)-5Hz → 20Hz	Subdermal: 1,5x liikekynnys; ≥20mA Surface: 50mA	EP-i or Ep-c/Fz, CII/Fpz or Fz, CP3/Fpz or Fz/CP4/Fpz or Fz, CP3 or CP4/EP-c; CP3/CP4	PF1/medial knee, PF2/medial knee, CII/Fpz, CPz/Fpz, CP3/CP4, IsL or ES/R		Yläraajat: 50-75ms ; Alaraajat: 100-125ms	1000Hz	30Hz - 100Hz	50-500	50% ↓	10% ↑
	IFCN (1999)	median, ulnar, radial - Ia.	tibial - Ia.					C3/C4, Cz/Fz, Erb	C3/C4, Cz/Fz, T12-L1						>35% → >50% (moderate)	
Tunto/liike- aivokuoren paikannus	ACNS (2009b)	median				2-8Hz → 20Hz		strip or grid min. of 16 electrode locations (4x1 strip) Reference: contralat. scalp or ear		Referential or bipolar montage	50ms	250-1500Hz	1-30Hz	25-50 min. 4 ch (but 8, 16 or 32 ch averager better)	N20/P30 phase reversal (P20/N30) ; highest amplitude of the N20 and P20	
	IFCN (1999)	median		biphasic technique	100-200µs	fast: 40-60Hz or slow: several	5-10mA	strip of 8 anterior to posterior recording electrodes		Comparison of bipolar and referential recordings					N20 post-central gyrus, P20 pre-central cortex	

LIITE 6: KORTIKOSPINAALISEN JA -BULBAARISEN RADAN LEIKKAUKSEN AIKAISIA MONITOROINTIMENETELMIÄ JA TEKNISIÄ SUOSITUKSIA

		Stimulation			Stimulus parameters						Recording			Recording parameters				Alarm criteria		
		Upper limbs	Lower limbs	Other	Polarity	Duration (ms)	Number of pulses/train	ISI (ms)	Intensity (mA)	Other	Upper limbs	Lower limbs	Other	Time base	HFF (Hz)	LFF (Hz)	Average	Amplitude	Latency	Threshold
MEP	ACNS (2016)	C1/C2 or C3/C4	C1/C2 or C3/C4 or Cz/Fz (bilat)		Yläraajat: + (anodal) dx/sin ; Alaraajat: + kontralat. vaste ↑ Cz+/Fz -		train of 3 or more pulses	2-4ms		facilitation	APB, ADM, ID1, forearm - la.	TA, AH - la.	more proximal muscles, anal sphincter					>50% (75%, 80%, 90%)	-	
	ASNM (2013)	C3/Cz, C4/Cz, C1/C2, C3/C4	C1/C2, C3/C4, Cz-1cm/Cz+6cm	Kasvot: C3/Cz, C4/Cz Sphincter: C1/C2 and C3/C4; (C+1= M3, M1, Mz, M2, M4)	anodal to cathodal	0,05ms or 0,5ms	3-4 pulses; 5 pulses; Alaraajat: 6-8 pulses; Kasvot: 3 pulses	Yläraajat, kasvot: 1-2ms ; 4ms		facilitation: double train; ITIs 10-20ms - ITIs 100-1000ms ; recurrent 1-2Hz pulse trains	APB, ADM, ID1, forearm - la.	TA, AH - la. additional muscles	Kasvot: Orbicularis oris and sometime other muscles ; Vagal nerve: vocalis/ cricothyroid ; other cranial nerve MEPs	100ms, shortened for cranial MEPs	Raajat: 1500-3000Hz	Raajat: 10-100Hz ; Kasvot: 0,2-2Hz or 150-300Hz		>50% - >80% ↓ ; disappearance ; morphology simplification ; >50% ↓ (facial) ; nerve roots -	-	threshold elevation ; ≥100V ↑ 3-4pulses, 0,05ms, ISI 2ms, TIVA
	ANS/BSCN (2012)	C3/C4, C1/C2	Cz/Fz or C3/C4 or C1/C2		polarity can be switched		2-9 pulses	1-5ms		As control: small hand muscles, forearm flexors/ extensors - la.	TA, AH, quardiceps, gastrocnemius, - la.						↓, all or nothing, change in morphology	→	↑	
D-aalto	ACNS (2016)				bipolar		multipulse TES						epidural/ subdural/ percutaneous; rostral and caudal; 2-3cm inter-electrode distance				≤20	50% ↓	-	↑
	ASNM (2013)				bipolar		multipulse TES	4ms					3-4 contacts ; 2-3cm distance; caudal monitoring, rostral control	10-20ms	1500-3000Hz	0,2-2Hz ; 500Hz	5-20 sweeps	IMSCT: >50% ↓ ; scoliosis: -	conduction velocity 50m/s	
DCS	ASNM (2013)				anodal to cathodal ; monopolar/ bipolar	*0,2-0,5ms / **0,2-0,4ms / *** 0,5ms	# 5-pulse trains / ##6-pulse trains	*2-4ms / **2ms / ***4ms	*threshold 6-12mA / **threshold 12mA / ***25mA / #15mA / ##8,5mA				unilateral MEPs					>30-40% ↓ (Peri-Rolandic with DCS)		DCS: lowest MEP threshold
SCS	ASNM (2013)				cathodal to anodal ; monopolar/ bipolar															1mA per mm (trains of 5 monopolar 0,2-0,5ms pulses, 3-4 ISI)